Švietimo Ministerijos
Knygų Leidimo Komisijos leidinys

Prof. V. ČEPINSKIS

FIZIKOS PASKAITOS

III skyrius

ŠILIMA



KAUNAS 1924 m.

Prakalba.

Vadinamųjų šilimos jėgų veikimas kartu su mechaniškais veikimais yra ypatingai pasklidęs pasaulyje. Su šilimos reiškiniais mes susiduriame kiekvienam žingsny. Visa tai, nuo ko pareina mūsų gyvasties išlaikymas, šiaip ar taip yra susipynę su šilimos procesais. Todel šilimos procesų pažinimas turi ne mažesnės reikšmės mūsų gyvenimui, kaip ir pažinimas mechaniškų reiškinių. Jeigu apie mechaniką sakoma, kad ji šiandien sudaro dar fizikos pagrindą, tai tokią nuomonę galima atkartoti ir šilimos atžvilgiu. Be to, šilimos mokslas, besivystydamas, tam tikroje savo stadijoje, įsiskverbė į mechanikos sritį, ir pastangos suprasti šilimą, kaipo mažiausių materijos dalelių— molekulų ir atomų—nematomų judėjimų išdavą, davė gerų vaisių. Taigi pastangos interpretuoti šilimos procesus mechaniškai ir sukūrė termodinamiką, kuri yra vienas iš užvis labiau pamatuotų ir esančių kuo plačiausiai pritaikintų dabartinės fizikos skyrių. Svarbu čia pabrėžti ir tai, kad termodinamika, besivystydama, emansipavosi nuo hipotetinių molekulinės atominės teorijos elementų ir virto ištikimu metodu sprendžiant matematiškai įvairias fizikos chemijos problemas, visiškai neliesdama klausimo, kas tai yra iš esmės šilima. Taigi taip praktiški, taip ir teoretiški atžvilgiai verste verčia skirti šilimos mokslui fizikoje didelę vietą. Todel suprantama, kad visur universiteto fizikos kurse šilima užima daugiau vietos negu kiti skyriai.

Patiekiamas čionai universiteto studentams ir šiaip jau kvalifikuotiems skaitytojams šilimos kursas apima visus tuos klausimus, kurie šiandien laikomi pagrindiniais šilimos klausimais. Kreipiant pirmiausia dėmesį į teoretišką dalyko pusę visur nurodoma ir praktiška reikšmė įvairių šilimos fenomenų. Pagaliau mechaninei šilimos teorijai, arba termodinamikai, skirta čia tiek vietos, kiek yra būtinai reikalinga, kad vidutiniškai inteligentiškas žmogus gautų aiškų supratimą kaip apie teoretišką, taip ir apie praktišką reikšmę šito šilimos mokslo skyriaus.

Čia, kaip ir mechanikos, hidrodinamikos ir aerodinamikos skyriuose, matematika daugiausia vartojama geros augštesnės mokyklos kurso ribose. Bet termodinamikoje be augštosios matematikos analizo jau negalima buvo apsieiti, kaip, pavyzdžiui, išvedant adiabatinių atmainų lygtį arba apibūdinant Carnot'o apverčiamojo ciklo išdavą. Nepaisant to, autorius mano, kad ir šilimos skyrius bus įmanomas ne tik universiteto studentams, bet ir augštesniųjų mokyklų vyresniųjų klasių auklėtiniams ir šiaipjau inteligentiškiems žmonėms, norintiems arčiau susipažinti su fizika.

Kai del patiekiamo čia šilimos kurso vertybės ir tikslumo, tai galima bus objektingai jį įvertinti, kada su juo pasipažins mūsų universiteto ir augštesniųjų mokyklų fizikai. Šitas žodis priklauso jiems, ir negali būti jokio abejojimo, kad autorius gaus iš savo kolegų naudingų nurodymų. Autorius nelaiko reikalinga nurodyti čia šaltinius, kuriais jis naudojosi rašydamas šitą kursą, nes tokių šaltinių reikėtų čia paminėti bent keliolika. Bet autorius laiko savo prievole pabrėžti čia, kad jis, eidamas mokslus Zuricho Politechnikoje, ypatingai susidomėjęs klausė šilimos kurso garsaus Vokietijos ir Šveicarijos fiziko H. F. Weberio. Tuo pačiu laiku autorius studijavo garsaus Vienos Universiteto fizikos profesoriaus ir filosofo Ernsto Macho visus raštus, kurie liečia šilimos fenomenus ir kurių minėto filosofo yra parašyta itin daug. Taigi autorius norėtų išreikšti savo ypatingą pagarbą ir padėką dviem minėtiem fizikam, prisipažindamas, kad, rašydamas savo šilimos kursą, jis buvo ypatingai smarkioje šitų dviejų tyrinėtojų įtakoje.

V. Čepinskis
Lietuvos Universiteto
Fizikos Profesorius

1924 m. vasario 24 d.
Kaunas.

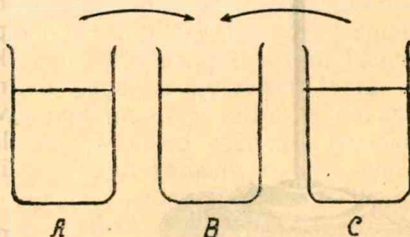
Šilima.

1 §. Termometrija. Šilimos jutimas.

Liesdami įvairius fizinius kūnus rankomis arba kitomis savo kūno dalimis mes juntame, kad vieni kūnai šalti, o kiti šilti. Tą šilimos ir šalčio jausmą turi visi gyviai šiek tiek išsivysčiusios nervų sistemos. Šito gyvių sugebėjimo tyrinėjimai rodo, kad šilimos ir šalčio jutimas lokalizuotas odos paviršiuje, taip kad į odą tenka žiūrėti kaipo į šilimos ir šalčio jutimo organą. Pasirodo, kad, pavyzdžiui, žmogaus kūno paviršiaus įvairios vietos nevienodai jautrios šilimos ir šalčio atžvilgiu; taip, pav., pirštų galai, palyginti, mažai tejautrūs minėtu atžvilgiu, o liežuvio galas ypatingai jautrus. Psicho-fiziologinių tyrinėjimų nustatyta, kad ant žmogaus odos (lygiai ir ant odos kitų augštesnių gyvulių) randasi vadinamieji „šilimos ir šalčio taškai, mažutės dėmelės, — vidutiniškai apie 12 kiekviename kv. cm. odos paviršiaus, nors ir nevienodai suskirstyti visame odos paviršiuje, — į kuriuos ir reikia žiūrėti kaipo į tikrus šilimos ir šalčio jutimo organus. Tą išorinį veiksnį, kuris sukelia šilimos arba šalčio jutimą, mes paprastai vadiname šilima. Dėka šilimos jutimo organų mes sugebame spręsti apie fizinių kūnų, taip sakant, šaltumą arba karštumą, palygindami su mūsų pačių kūno karštumu, kada ta ar kita mūsų kūno paviršiaus dalis randasi kontakte su bet kuriuo fiziniu kūnu. Mes galime net pasakyti, kurie kūnai yra šaltesni, kurie šiltesni, o tai turi mums didelės biologinės reikšmės.

Bet vienas svarbiausių fizikos uždavinių, kaip jau ne vieną sykį buvo pabrėžta, — tai paversti kokybes, kurios pasižymi didesniu arba mažesniu intensyvumu, kiekybėmis ir išreikšti jas skaičiais, išmatavus jų intensyvumus. Toksai uždavinys buvo duotas fizikai dar Aristotelio, ir spręsdamas savo problemas fizikas visuomet pradeda savo darbą matavimu. Taigi pradedant studijas to išorinio veiksmo, kurį mes vadiname šilima, mums pirmiausia reikia pasistengti išmatuoti šilimos ir šalčio intensyvumą, arba laipsnį, kuris paprastai vadinasi temperatūra [1]).

Mūsų šilimos organo parodymai pareina nuo mūsų pačių kūno šilimos laipsnio, arba temperatūros, ir todel mūsų betarpis sprendimas apie fiziniu kūnu šilimos laipsnį yra subjektingas ir neduoda tikrų rezultatų. Šitą subjektingumą mūsų sprendimo apie šilimos laipsnį ryškiai demonstruoja šis eksperimentas. Paimkime tris indus: A, B, C (1 pieš.). Pripilkime indą A šalto vandens, indą C karšto vandens, o vidurinį indą B mišinio šalto ir karšto vandens (vasaradrungio vandens). Panerkime dabar kairiąją ranką į indą A, o dešiniąją ranką į indą C ir, palaikę taip trumpą laiką, panerkime abi rankas į vidurinį indą B. Kairioji mūsų ranka sakys mums dabar, kad vanduo inde B karštas, o dešinioji— kad šaltas. Taigi ir išeis, kad kairioji ranka nežino ką daro dešinioji, ir mūsų sprendimas apie vandens inde B šilimos laipsnį visiškai neatitiks tikrenybei. Taip pat paėmus į ranką bet kurį geležinį daiktą ir bet kurį medinį daiktą, kurie randasi, sakysime, tam pačiam kambary ant to paties stalo, mums



Pieš. 1

---

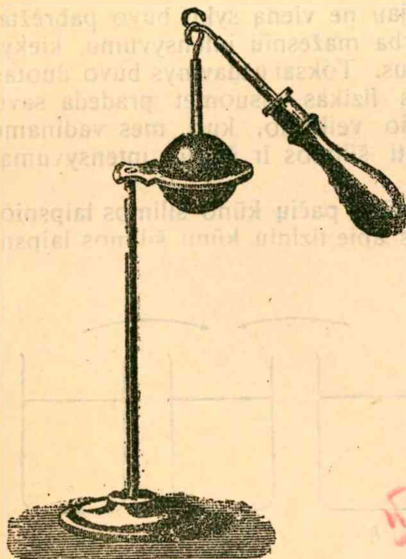
[1]) Tiesioginai remdamies tik mūsų kūno paviršiaus reakcija, mes sugebame spręsti tik apie šilimos intensyvumo skirtumus. Todel tiksliau būtų kalbėti čia ne apie mūsų šilimos jutimą, bet apie mūsų temperatūros jutimą.

atrodys, kad geležinis daiktas yra šaltesnis, o medinis šiltesnis, jeigu mūsų kūno šilimos laipsnis bus didesnis, kaip geležies ir medžio. Dalykas toks, kad geležis daug greičiau atima nuo mūsų kūno paviršiaus šilimą negu medis. Be to, reikia turėti omeny, kad mūsų šilimos organai, išbarstyti, taip sakant, odos paviršiuje, reaguoja į šilimos veikimą staiga (greitai), bet greit ir atbunka, vadinasi, pripranta prie naujų šilimos laipsnio aplinkybių. Visi mes labai gerai žinome, koks nemalonus iš pradžios esti jausmas lendant į šaltą vandenį, ir kaip mes greit priprantame prie vandens, taip sakant, šilimos laipsnio, taip kad kartais net nesinori lipti iš vandens laukan. Taip pat, esant dideliam šalčiui, galima smarkiai nušalti tą ar kitą kūno dalį, sakysime, nosį arba ausį, visiškai nejaučiant to. Nemalonus jausmas reiškiasi čia tik iš pradžios, o paskum mes jau priprantame. Darant kai kurias chirurgines operacijas žymiai atšaldoma ta ar kita kūno vieta, ir operuojamas žmogus nejaučia ne tik šalčio, bet ir skausmo.

2 §. Fizinių kūnų tūrio kitėjimas nuo šilimos.

Taigi šitas subjektingumas mūsų sprendimo apie fizinių kūnų šilimos laipsnį, arba temperatūrą, verste verčia ieškoti objektingų priemonių šilimos intensyvumui, arba temperatūrai, išmatuoti. Šitą objektingą priemonę suteikia tas visiems žinomas faktas, kad fizinių kūnų tūris pareina nuo jų šilimos stovio arba, kitaip sakant, yra to stovio funkcija. Mes visi žinome, kad šildant bet kurį kietą kūną jo ilgis, plotis ir storis, vadinasi, jo tūris didėja, šaldant — tūris mažėja, galima sakyti, kad visos fizinės kūnų savybės kinta tų kūnų šilimos stoviui kintant, bet apie tai mums teks pakalbėti vėliau prie tam tikros progos. O čia mes užsiimsime tūrio kitėjimu nuo šilimos.

Paprastai kietų kūnų tūris tiek mažai skečiasi nuo šilimos, jog sunku jis pastebėti akimis, ir jeigu krosny raudonai įkaitintas žersteklis atrodo mums didesnis, tai tik todel, kad čia reiškiasi ta mūsų akies ypatybė, pagal kurią mes pripratę esame to paties didumo šviesesnius kūnus laikyti didesniais kaip tamsesnius. Ryškiai kietų kūnų skėtimuisi nuo šilimos demonstruoti reikia griebtis netiesioginių priemonių, naudojantis, pavyzdžiui, Jugenhouso aparatu (2 pieš.). Čia mes turime štatyvą, prie kurio pritraukta grandis tam tikro diametro ir užkabinta ant metalinio kablio su medine rankena, metalinį rutuliuką, kurio diametras yra tik truputį mažesnis kaip grandies diametras, taip kad tas rutuliukas paprastai lengvai išeina pro grandį. Bet pakaitinus šitą rutuliuką kiek laiko spirito lempute, jis jau nebeišeina pro grandį, ir tik jam pakankamai atvėsus prasmunka vėl pro grandį. Taigi, vėstant kūnai traukiasi, jų tūris mažėja. Šita kūnų savybe mes dažnai naudojamės paprastame gyvenime. Pav., kalvis, maudamas geležinį lanką ant rato kaitina jį, kad lengviau būtų užmauti. Vėsdamas lankas susitraukia ir kietai laikosi ant rato.



Pieš. 2

Skysti kūnai žymiai smarkiau keičia savo tūrį nuo šilimos, taip kad tai jau lengvai galima sekti akimis. Paimkime stiklo butelį, arba bonką, ilgu ir siauru kaklu ir pripilkime jį bet kurio skystimo (kad geriau matytųsi — nudažyto skystimo iki kaklo pradžios. Ėmę šildyti iš apačios spirito lempute, mes tuoj pastebėsime, kad skystimas žymiai kįla augštyn bonkos kakle (3 pieš.) Atėmus spirito lempute ir vėstant skystimui, jis kakle puls žemyn.

Dar smarkiau negu skystimai keičia savo tūrį nuo šilimos dujos. Tai lengva demonstruoti aparatu, kurį atvaizduoja 4 piešinys. Mes čia turime sulenktą U pavidalu

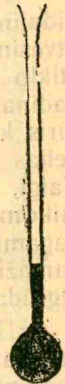
stiklo vamzdį, kurio viena šaka B ilgesnė ir atdara, o kita šaka A trumpesnė ir baigiasi uždarytu rutuliu. Šitas aparatas reikia pripilti bet kurio lengvo skystimo, sakysime, žibalo, kuris, kad geriau matytųsi, galima nudažyti raudonai su raudonais dažais, ekstraguotais iš alkanos šaknų. Tada tas skystimas uždarys rutulyje tam tikrą oro tūrį. Kad aparatas būtų jautresnis, reikia, kad oras rutuly būtų retesnis, vadinasi, kad jo spaudimas būtų kiek mažesnis, kaip atmosferos spaudimas, sakysime, kad skystimo lygis ilgesnėje aparato šakoje B būtų prie C. Dabar pakanka tepridėti tik ranką prie rutulio A, ir tuojau skystimas ima žymiai kilti augštyn šakoje B. Kadangi oras rutulyje A praretintas, tai pakanka, palyginti, nedidelio šilimos kiekio, kurį suteikia jam per stiklą mūsų ranka, kad jo tūris imtų žymiai didėti ir varyti skystimą iš rutulio A į šaką B. Atėmus ranką oras vėsta, jo tūris mažėja, ir skystimas šakoje B slenka žemyn. Šitas aparatas vadinasi termoskopu ir jo pagalba galima jau matuoti šilimos laipsnį, arba temperatūrą, prijungus prie šakos B tam tikrą temperatūros skalę. Galilėjus pirmutinis matavo tokiu aparatu temperatūras, paskiau tai darė ir kiti, ir todel į šitą aparatą reikia žiūrėti kaipo į termometro prototipą. Bet šitas aparatas netikslus del įvairių priežasčių ir pirmiausia todel, kad skystimo pakilimas šakoje B čia žymiai pareina nuo išorinio oro spaudimo, tasai spaudimas, kaip mes žinome, nėra pastovus dydis. Taigi ilgainiui, remiantis ypač skystų kūnų tūrio keitimusi nuo šilimos, išsidirbo tam tikri aparatai temperatūrai matuoti, kurie vadinasi termometrais (termos graikų kalboje reiškia šilimą, o metron—matas).



Pieš. 3.



Pieš. 4.



Pieš. 5.

3 §. Gyvojo sidabro ir kitokie termometrai.

Jų gaminimas ir gradavimas. Celsijaus, Fahrenheit'o ir Réaumur'o termometrai. Spirito termometrai. Pataisos termometrui. Termometrų patikrinimas ir kalibravimas. Maximum ir minimum termometrai.

Šiandien mokslo srityje išimtinai, o paprastam gyvenime dažniausiai vartojami gyvojo sidabro termometrai, nes gyvasai sidabras, kaip ir kiti skysčiai, daug smarkiau keičia savo tūrį nuo šilimos negu kieti kūnai ir, be to, dar daug lengviau pagaminti visiškai gryną gyvąjį sidabrą negu kitą kurį skystį, ir pagaliau gyvasai sidabras daug vienodžiau keičia savo tūrį temperatūrai kįlant arba puolant negu kiti skysčiai. Norint pagaminti termometras reikia paimti gero stiklo vamzdį, kurio vienas galas baigiasi uždarytu rutuliuku žymiai didesnio diametro kaip vamzdžio kanalas, o kitas galas atdaras, išplėstas pavidalu mažučio piltuvo. Labai dažnai uždaras galas turi nedidelio cilindro pavidalą, tik žymiai didesnio diametro kaip vamzdžio kanalas (žiūr. 5 pieš.). Rutulys arba cilindras reikia pripilti gryno gyvojo sidabro. Norint tai atlikti, gyvasai sidabras pilamas mažomis porcijomis į piltuvą viršuje, o iš apačios rutulys arba cilindras kaitinama spirito lempute. Rutulio oras skečiasi ir burbuliukais per gyvąjį sidabrą piltuve veržiasi laukan, taip kad atėmus lemputę ir vėstant rutuliui, oro spaudimas darosi jame mažesnis kaip išorinis atmosferos spaudimas, ir tų skirtumų spaudimas suvaro gyvąjį sidabrą iš piltuvo į rutulį. Atkartojus šitą operaciją keletą sykių atsargiai veikiant galima įvaryti į rutulį tiek gyvojo s d ıbro, kiek reikia. Padarius tai, visas

aparatas kaitinamas taip, kad gyvasai sidabras pradėtų net virti. Toksai kaitinimas reikalingas (jis daromas tam tikrose kaitinimo tynėse ir trunka gan ilgai) išvaryti visam orui ne tik iš gyvojo sidabro, bet ir iš stiklo (stiklo paviršiaus adsorbuotą orą). Atsiekus tai, prie vamzdžio galo arti nuo piltuvo pridedama lydimo lemputės liepsna, ir suminkštėjus toj vietoj stiklui, tas galas atsargiai, pamaži nutempiamas, taip kad termometras bus uždaras iš abiejų galų.

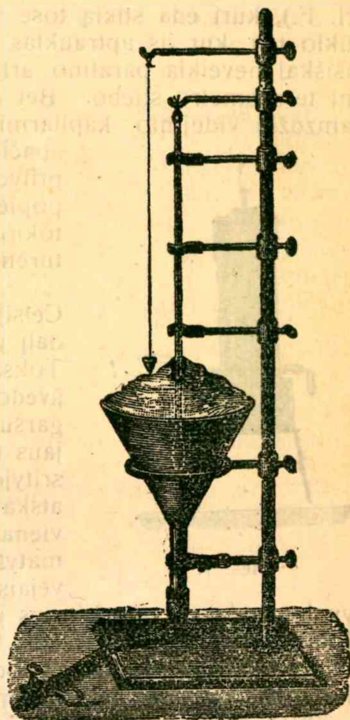
Išvyti oras iš termometro kaitinimu reikalingas tam, kad gyvojo sidabro skėtimasis nebūtų trukdomas oro spaudimo, kuris pasiliktų termometro vamzdelyje jį užlydžius. O palikti termometro galą atdarą irgi nepatogu, nes gyvasai sidabras gali ir išsilieti, bet kas užvis svarbiau, į termometro kapilarą gali patekti dulkės ir kitokie nešvarumai iš oro ir tuo būdu pakeisti gyvojo sidabro fizines savybes ir pirmiausia jo išsiplėtimą nuo šilimos ir jo judingumą. Be to, palikus termometrą atdarą, nors ir labai mažai, bet visgi apčiuopiamai gyvojo sidabro tūrio pasikeitimai pareitų nuo atmosferos spaudimo.

Pagaminus tokiu būdu termometrą, einama prie jo atleidimo, kad pašalintum vidujinį stiklo įtempimą, kuris susidaro del ilgo kaitinimo ir paskum, palyginti, ūmaus atvėsimo. Jau nekalbant apie tai, kad neatleistas termometras del vidujinio stiklo įtempimo lengvai gali sprogti ir sudužti, jis pasižymi dar elastingu poveikimu, vadinasi, kaitinant jį stiklo tūris didėja, bet atvėsinus jį iki pirmykščios temperatūros, tūris kurį laiką pasilieka didesnis, negu atitinka pirmykštei temperatūrai, ir tik per kelias valandas, dažnai net per kelias dienas, termometro stiklas atitaiso savo tūrį. Taigi, norint pašalinti arba sumažinti kiek tik galima šitą ydą, pagaminti termometrai laikomi tam tikrose karšto aliejaus tynėse prie augščiausios temperatūros, del kurios pagamintas termometras, visą dieną ir net kelias dienas ir paskum nuosaikiai ir pamaži atvėsinami. Vienu žodžiu, su termometrais čia elgiamasi taip pat, kaip atgrūdant plieną.

Dabar reikia termometras graduoti, vadinasi, pažymėti ant termometro stiklo bruožais gyvojo sidabro padėtys, kurios atitinka įvairioms temperatūroms. Čia svarbu pasirinkti du arba daugiau tokių fizinių procesų, kurie visuomet yra surišti su tam tikru šilimos stoviu, arba kuriems visuomet galima priskirti tam tikrą nuolatinę temperatūrą ir kuriuos, reikalui esant, lengvai galima atkartoti. Prie tokių procesų priklauso visos fizinio stovio kai kurių chemiškai grynų kūnų atmainos. Ypatingai patogus šituo atveju kūnas yra vanduo, kurį lengva pagaminti chemiškai gryną. Todel šiandien fizikoje ir paprastam gyvenime ledo tirpimo temperatūra ir vandens virimo temperatūra, esant normaliniam atmosferos spaudimui, priimta laikyti nuolatinėmis arba „kietomis" temperatūromis, nuo kurių prasideda kiekvieno termometro gradavimas, nes tirpstant ledui arba užšąlant vandeniui mes turime aiškiai apibrėžtą šilimos stovį ir, vadinasi, tam stoviui atitinkamą aiškiai apibrėžtą temperatūrą. Taip pat verdąs vanduo prie normalinio spaudimo sudaro kitą aiškiai apibrėžtą šilimos stovį su tam tikra aiškiai apibrėžta temperatūra. Abudu šituos vandens šilimos stovius, reikalui esant, lengva realizuoti. Šiandien mokslo srityje vartojami vadinamieji Celsijaus termometrai, ant kurių stiklo gyvojo sidabro stovis, atitinkąs ledo tirpimo temperatūrai, žymimas skaitmeniu 0, o gyvojo sidabro stovis, atitinkąs vandens virimo temperatūrai, žymimas skaitmenių 100. Atstas tarp šitų dviejų bruožų ant termometro stiklo dalinamas į 100 lygių dalių, ir kiekvienas iš tų padalinimų vadinamas Celsijaus gradu, arba laipsniu. Šitie padalinimai, arba gradai, fiksuojami ant termometro stiklo arba ant termometro skalės žemiau nulio, ir tada jie laikomi šalčio laipsniais, skaitant arba rašant juos su ženklu —. Taip pat tie padalinimai daromi ir viršum bruožo, pažymėto skaitmeniu 100, ir tada jie rodo augštesnius šilimos laipsnius negu vandens virimo šilimos laipsnis.

Termometro gradavimas prasideda visuomet fiksavimu ant termometro stiklo, arba skalės, nuolatinių arba kietų temperatūros taškų. 6 piešinys atvaizduoja aparatą, kurio pagalba dirbtuvėse ir laboratorijose nustatoma ledo tirpimo arba vandens užšalimo temperatūra. Tai yra paprastas skardinis arba misinginis piltuvas ant štatyvo, ant kurio apatinio atdaro galo užmautas kaučiuko vamzdis. Darant eksperimentus

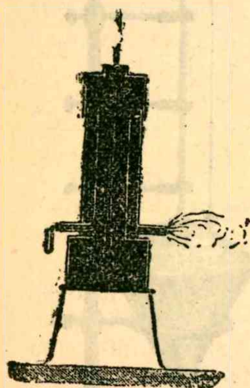
jis užspaudžiamas gnybtu. Piltuvą reikia pripilti sudaužyto smulkiais gabalėliais ledo ir užpilti ant to ledo vandens. Užpiltas vanduo sutirpins dalį ledo, užtat pats atvės iki ledo tirpimo temperatūros. Išorinė šilima, sakysime, kambario šilima tirpins ledą toliau, bet, kaip mes pamatysime toliau, ledui tirpstant ir darantis mišiniui iš ledo ir vandens, temperatūra nekinta, pakol ištirps paskutinis ledo gabalėlis. Esant vienam tik ledui gali atsitikti, kad to ledo temperatūra bus žemesnė kaip tirpstančio ledo temperatūra. Todel ir reikia visuomet turėti ledo ir vandens mišinį, kad būtume tikri, kad mes turime reikalo su ledo tirpimo, o ne su kokia kita temperatūra. Įkišus į šitą ledo ir vandens mišinį cilindrinį termometro galą, arba rutulį, kaip rodo piešinys, gyvasai sidabras termometro kapilare ima trauktis ir pagaliau sustoja ir laikosi tam tikrame augštyje, pakol apie termometro galą randasi tirpstantis ledas. Paprastai pakanka palaikyti 10—15 minučių, kad įsitikintume, ar gyvasai sidabras nusistojo ar ne. Gyvojo sidabro menisko padėtis tirpstančiam ledui ant termometro žymima bruožu (dažais arba įbrėžiant stiklą toje vietoje diementu). Nustatyti antrajam kietam taškui, būtent, vandens virimo taškui, vartojamas aparatas, kurį atvaizduoja 7 piešinys. Mes čia turime nedidelį cilindrinį metalinį katilą ant trikojo, kuris iki $^1/_3$ arba net iki $^1/_2$ pripilamas vandens. Viršutinė katilo dalis turi ilgoko cilindro pavidalą, kuris randasi antram, kiek platesniam, cilindre, kuris prilydytas prie katilo. Ant išorinio cilindro užmaunamas vožtuvas su skyle, kuri užkimšta kamščiu. Kamštis irgi turi skylę, pro kurią išstumtas termometras taip, kad jo apatinis galas siekia iki katilo pradžios. Pastačius po katilu spirito lempą arba Bunseno dujinę lempą, vanduo katile užvirs, ir vandens garai kils viduriniam cilindre augštyn, dalinai kondensuosis ir kris atgal į katilą, dalinai pereis per krantus vidujinio cilindro ir vidujinio ir išorinio cilindrų tarpu slinks žemyn ir išeis laukan pro nurodytą piešiny iš dešinės pusės skylę, dalinai vandens lašų pavidalu, dalinai garų pavidalu. Termometro galas, vadinasi, bus apsuptas verdančio vandens garų ir plono sluogsnio skysto vandens, susikondensavusio ant termometro galo. Vadinasi, ir čia mes turėsime mišinį garų ir vandens, ir tiktai tas mišinys turės nuolatinę temperatūrą nesimainant išoriniam spaudimui, kaip mes įsitikinsime irgi vėliau. Dalykas tas, kad vanduo labai lengva perkaitinti, ir, laikydami termometro galą vandeny, mes lengvai galime gauti augštesnę temperatūrą negu vandens virimo temperatūra. Taigi ir reikia, kad termometro galas neliestų vandens. Užvirus vandeniui, gyvasai sidabras termometro kapilare ims vis greičiau ir greičiau kilti augštyn ir pagaliau sustos, pasiekęs tam tikrą augštį. Jeigu per $^1/_4$ valandos gyvasai sidabras laikosi pasiekto augščio, tai, vadinasi, mes turime nuolatinę vandens virimo temperatūrą, ir jeigu atmosferos spaudimas normalinis, tai, pažymėjus šitą vietą bruožu (dažais arba įbrėžus diementu), mes priskiriame tam bruožui skaitmenį 100. Reikia čia pabrėžti, kad darant šitą eksperimentą tenka skaitytis su barometro parodymu, nes vandens virimo temperatūra žymiai pareina nuo atmosferos spaudimo, būtent, vidutiniškai puola 1^0 C žemyn sumažėjus atmosferos spaudimui 27 mm. gyvojo sidabro stulpo ir tiek pat pasikelia padidėjus atmosferos spaudimui 27 mm. Pavyzdžiui, jeigu barometras rodo tik 747 mm., tai virimo temperatūra bus ne 100^0 C, o $99{,}5^0$, ir tada bruožas su skaitmeniu 100 reikia pravesti 0,5 augščiau tos vietos, kur nusistoja termometro gyvasai sidabras. 7 piešinys iš kairės pusės rodo dar manometrinį vamzdį, paprastai pripiltą vandens, kurio vienas galas



Pieš. 6.

per tam tikrą kamštį įeina į vidujinį cilindrą ir duoda galimumo konstatuoti, ar garų spaudimas tam vidujiniam cilindre apačioj yra lygus atmosferos spaudimui, ar didesnis (jeigu garų spaudimas cilindre pasidarys truputį didesnis, kaip atmosferos spaudimas, tai vanduo manometre kairioje šakoje stovės kiek augščiau negu dešinėje šakoje).

Pažymėjus bruožais du nuolatinius taškus, galima padalinimo mašinos pagalba padalinti visas termometro stiklas, pradedant nuo tos vietos, kur termometro rutulys arba cilindras jungiasi su kapilaru, laipsniais, įbrėžiant diementu bruožus tam tikrose vietose, o tuos bruožus pažymėti nudažytais skaitmenimis arba išėdant stiklą tose vietose tam tikrais reagentais. Dažnai daroma taip: visas termometras aptraukiamas plonu permatomu parafino arba vaško sluogsniu (kad matytųsi nuolatiniai bruožai). Padalinimai, arba įbrėžimai, daromi ant šito parafino arba vaško sluogsnio įbrėžiant tam tikrose vietose. Paskum termometras kurį laiką laikomas lydimo rūgšties garuose (H. F.), kuri ėda stiklą tose vietose, kur parafinas arba vaškas įpjauti, ir neliečia stiklo ten, kur jis aptrauktas parafino arba vaško sluogsniu, nes lydimo rugšties garai visiškai neveikia parafino arba vaško. Visokiais atvejais geriau turėti padalinimus ant termometro stiebo. Bet dažnai patogumo dėliai termometras daromas iš dviejų vamzdžių vidujinio kapilarinio, kuriame randasi gyvasai sidabras ir kuris baigiasi apačioj cilindru, arba rutuliu, ir išorinio platesnio vamzdžio, prilydyto prie termometro cilindro, arba rutulio, į kurį įdedama popierinė arba emaliuoto balto stiklo skalė. Laipsnius ant tokios skalės patogiau atskaityti, bet tikslumo atžvilgiu geriau turėti termometrai su padalinimais ant stiebo.



Pieš. 7.

Aprašytas čia termometras, kaip jau minėta, vadinasi Celsijaus termometras. Jame kiekvienas laipsnis sudaro $^{1}/_{100}$ dalį gyvojo sidabro išsiplėtimo nuo ledo taško iki virimo taško. Toksai skalės padalinimas buvo pasiūlytas XVIII šimtmetyje švedo Celsijaus, kuris gyveno ir veikė tuo pačiu laiku, kaip ir garsus gamtininkas, irgi švedas, Linaeus. Nuo to laiko Celsijaus termometras įsivyravo mokslo srityje. Šiandien mokslo srityje vartojami Celsijaus termometrai, kurių pagalba lengva atskaityti šimtinę dalį grado. Savaime suprantama, kad kiekvienas gradas turi būti pakankamai ilgas, kad galima būtų matyti paprastomis akimis šimtinę jo dalį. Taigi tokiais atvejais termometro vamzdis turi būti labai siauras, nes keičiantis gyvajam sidabrui nuo šilimos jo ilgis padidės juo labiau, juo mažesnis bus jo skerskrodžio plotas, vadinasi, juo mažesnis bus termometro kapilaro skersmuo. Iš čia eina, kad tokie jautrūs termometrai, kurie duoda galimumo atskaityti mažą grado dalį, gali būti pagaminti tik tam tikroms nedidelėms temperatūros riboms, daugiausia 5^{0}, sakysime, nuo—2^{0} C iki + 3^{0} C, arba nuo + 10^{0} C iki + 15^{0} C ir panašiai. Jau ir tokiais atvejais termometro stiebas išeina ilgokas. Pagaminti gi toksai jautrus termometras, kuris veiktų temperatūros ribose nuo 0^{0} iki 100^{0} irgi galima, bet tai nedaroma, nes tokio termometro stiebas turėtų su viršum 2 metru ilgio ir manipulavimas su tokiu termometru būtų labai nepatogus.

Greta Celsijaus termometro paprastam gyvenime vartojamas dar Réaumur'o termometras, kuris skiriasi nuo Celsijaus termometro tik tuo, kad ant jo skalės vandens virimo taškas pažymėtas skaitmeniu 80. Vadinas, kiekvienas Réaumur'o gradas sudaro $^{1}/_{80}$ dalį gyvojo sidabro išsiplėtimo nuo ledo taško iki virimo taško. Taigi kiekvienas Celsijaus gradas sudaro $^{4}/_{5}$ dalis Réaumur'o grado, ir atitinkamai Celsijaus gradų skaičius yra didesnis kaip Réaumur'o gradų skaičius, pavyzdžiui, jeigu Celsijaus termometras rodo 20^{0}, tai tuo pačiu laiku Réaumur'o termometras rodys tik 16^{0}. Prancūzas Réaumur'as pasiūlė savo skalę XVII šimtmečio pabaigoj, ir nuo to laiko Réaumur'o termometrai įsivyravo paprastam gyvenime Prancūzijoje, Vokietijoje ir kituose Europos kraštuose. Bet Anglijoje ir Amerikos Jungtinėse Valstybėse vartojamas Fahrenheit'o termometras. Fahrenheit'as, olandas iš Amsterdamo, 1720 metais pirmutinis pasiūlė vartoti kaipo geriausią termometrinę medžiagą gyvąjį sidabrą ir tikėdamas, kad tais

metais Olandijoj buvo pasiektas didžiausias šalčio laipsnis, nes Olandijoj tada buvo ypatingai šalta žiema, priėmė šitą šilimos laipsnį už 0. Žmogaus gi kūno temperatūrą jis priėmė už antrąjį termometro nuolatinį tašką ir pažymėjo jį skaitmeniu 100. Priėmus šituos du nuolatinius taškus: didžiausio šalčio, kaip manė Fahrenheit'as, ir žmogaus kūno temperatūrą, ledo taškas tenka pažymėti skaitmeniu 32 ir vandens virimo taškas skaitmeniu 212, taip kad Fahrenheit'o termometro skalė tarp ledo taško ir virimo taško padalinta 180 dalimis, vadinamų Fahrenheit'o gradais. Nustatydamas tokį padalinimą, Fahrenheit'as tikėjosi išvengti neigiamų skaičių, skaitant visur šilimos laipsnius teigiamais, pradedant nuo jo nustatyto 0. Temperatūros skalė tik su teigiamais skaičiais, žinoma, yra daug patogesnė kaip su teigiamais ir neigiamais skaičiais ir, kaip mes pamatysime kiek vėliau, šiandien fizika turi tokią temperatūros skalę. Bet Fahrenheit'o skalė neapsiėjo be neigiamų skaičių, nes Fahrenheit'as apsiriko manydamas, kad 1720 metų žiemą Olanduose buvo pasiektas didžiausias šalčio laipsnis arba, kaip jis manė, šilimos nulinis laipsnis. Bet visgi jo termometras patiko anglams ir amerikiečiams ir šiandien jų dar tebevartojamas.

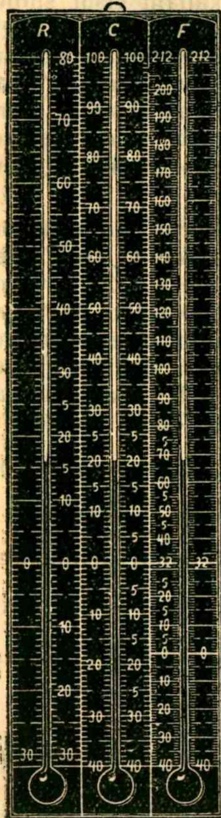
Norint surasti, kokiam skaičiui Celsijaus gradų atitinka tas arba kitas skaičius Fahrenheit'o gradų, pažymėsime Celsijaus termometro parodymą raide t_C, o Fahrenheit'o reide t_F. Be to, dar pažymėsime Fahrenheit'o ledo tašką raide a (32) ir virimo tašką raide b (212). Kadangi gyvojo sidabro išsiplėtimas nuo ledo taško iki virimo taško yra tas pats Celsijaus ir Fahrenheit'o termometrams (ir Réaumur'o termometrui), tai aišku, kad t_C sudaro tokią pat dalį nuo 100 kaip t_F — a (vadinasi, skaitant Fahrenheit'o gradus nuo ledo taško, o ne nuo Fahrenheit'o nulio) nuo b — a (vadinasi, imant Fahrenheito gradų skaičių tarp ledo taško ir virimo taško). Taigi mes turime proporciją: $\frac{t_C}{100} = \frac{t_F - a}{b - a}$. Tegu, pavyzdžiui, Fahrenheit'o termometras rodo 100°. Kiek tai bus Celsijaus laipsnių? Iš proporcijos išeina: $t_C = (t_F - a)\frac{100}{b-a}$ arba, $t_C = (100 - 32)\frac{100}{180} = 37^0$ C. Tai ir bus normalinė žmogaus kūno temperatūra Celsijaus gradais. Dar pavyzdys. Tegu Celsijaus termometras rodo — 30°. Kiek rodo Fahrenheit'o termometras? Iš proporcijos išeina: $t_F - a = t_C \frac{b-a}{100}$, arba $t_F = t_C \frac{b-a}{100} + a$, arba $t_F = -30 \frac{180}{100} + 32 = -22$ F.

8 piešinys atvaizduoja Réaumur'o, Celsijaus ir Fahrenheit'o termometrus su jų skalėmis, taip kad jų parodymų skirtumai aiškiai matyti.

Kai del temperatūros ribų, kuriose veikia gyvojo sidabro termometras, tai reikia turėti omeny, kad gyvasai sidabras kietėja prie Celsijaus temperatūros apie — 40° ir verda esant normaliniam spaudimui prie Celsijaus temperatūros 360°. Taigi augščiau nurodytu būdu pagamintas gyvojo sidabro termometras galima vartoti temperatūroms matuoti pakankamai tiksliai nuo — 40° C iki + 300° C. Augščiau kaip 300° C gyvojo sidabro garų spaudimas darosi jau toks žymus ir taip jau kliudo gyvajam sidabrui plėstis, jog gradų lygybė nustoja veikus. Bet jeigu, pagaminus gyvojo sidabro termometrą augščiau nurodytu būdu, pripompuoti jo kapilarą azoto iki keliasdešimt atmosferų spaudimo ir paskum tuo ar kitu būdu uždaryti kapilarą, tai tokiu būdu gyvojo sidabro virimo temperatūrą galima pakelti iki 500° C ir net augščiau, ir su tokiu termometru galima matuoti temperatūras daug platesnėse ribose. Šiandien gaminami tokie termometrai iš gryno kvarco su azoto spaudimu jų kapilare iki 60 atmosferų, su kuriais galima matuoti temperatūras iki + 750° C.

Pažymėsime dar čia tas gyvojo sidabro savybes, kurios daro šitą kūną ypatingai tinkama medžiaga termometrams. Pirmiausia, gyvasai sidabras plačiose temperatūros ribose skečiasi nuo šilimos gangreit vienodai. Antra, nešlapindamas stiklo jis gan lengvai slankioja stiklo kapilare, taip sakant, su mažiausiu trynimu. Trečia, gyvojo sidabro garų spaudimas iki 300° C yra labai mažas, ir todel gyvasai sidabras ligi tos

temperatūros nedistiluoja. Pagaliau gyvasai sidabras yra geras šilimos laidininkas ir turi mažą šilimos talpumą. Taigi nuo mažo šilimos kiekio jis jau žymiai maino savo tūrį ir, be to, greitai įgauna nuo kūno, su kuriuo jis yra kontakte, to kūno temperatūrą. Galima prikišti gyvajam sidabrui, kaipo termometro medžiagai, jo tūrio, palyginti, nedidelį pasikeitimą nuo šilimos. Bet ta yda neturi jokios reikšmės vartojant siaurus kapilarus, kas nesudaro jokių nepatogumų atskaitant, nes gyvojo sidabro kad ir siauras siūlas nepermatomas ir, vadinasi, to siūlo galas lengva matyti.

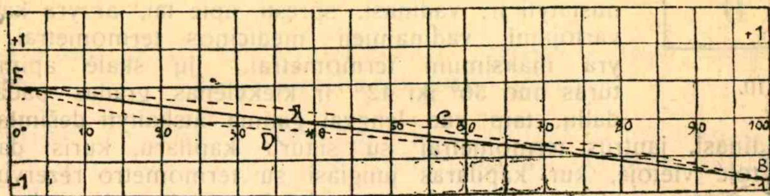


Pieš. 8.

Iš kitų skysčių, kurie šiandien dar vartojami kaipo termometrinė medžiaga, pažymėsime čia tik gryną spiritą, kuris kietėja prie temperatūros apie — 150° C. Vadinasi, spirito termometrai tinka žemoms temperatūroms matuoti. Teigiamos spirito savybės termometrui — tai jo tūrio žymus pasikeitimas nuo šilimos ir lengvas be trynimosi slankiojimas siauram stiklo vamzdy (kad geriau spirito stulpas būtų matyti, spiritas dažnai nudažomas tam tikru dažu tamsiai mėlynai). Spirito termometro ydos tai pirmiausia spirito, palyginti, žema virimo temperatūra (78° C) ir, kas dar blogiau, tai jo didelis garų spaudimas būvant tokioms temperatūroms, kurios yra dar gan toli nuo jo virimo temperatūros. Taigi spiritas ima distiluoti dar būdamas toli nuo savo virimo temperatūros ir tuo būdu dalis spirito susitaupo, kaipo skystimas, termometro vamzdžio viršūnėje, mažindamas spirito stulpą, kuriuo matuojama temperatūra. Todel spirito termometrai kiek augštėlesnėms temperatūroms duoda mažesnius skaičius negu reikia. Be to, reikia turėti omeny, kad spiritas yra blogas šilimos laidininkas ir todel ne taip greitai įgauna to kūno temperatūrą, su kuriuo jis yra kontakte, kaip tai daro gyvasai sidabras.

Šiandien dirbtuvės gamina termometrus, kurių kapilaras turi pakankamai vienodą skersmenį per visą savo ilgį. Todel ir atskiri gradai yra vienodi. Bet vartojant ir gerus termometrus, pagamintus iš gerai atleisto stiklo, su tiksliai padarytais padalinimais, ilgainiui padėtis jų nuolatinių taškų, lygiai kaip ir atskirų gradų ilgis mainosi del priežasties elastingo stiklo poveikimo, kuris reiškiasi tuo, kad šildant stiklą jo tūris didėja, bet vėsinant jį pirmykštis išeinamasai tūris sunkiai atsitaiso, dažnai visiškai nebeatsitaiso, ypač kada termometras labai vartojamas. Kapilaro gi skersmens padidėjimo vaisius tai žemesnis gyvojo sidabro stulpas (nes platesnis), atitinkąs tai ar kitai temperatūrai, kuri pažymėta ant termometro. Vadinasi, ir geri termometrai ilgainiui duoda nebetikrus temperatūros skaičius, be to, gali atsitikti, kad ir naujai nupirktas termometras nepakankamai tiksliai pagamintas. Todel laboratorijose dažnai prisieina patikrinti termometrai. Paprasčiausias ir užvis greičiausias būdas termometrui patikrinti tai bus jo nuolatinių taškų patikrinimas su prietaisais, kuriuos atvaizduoja 6 ir 7 piešiniai. Tegu, pavyzdžiui, patikrinant ledo tašką, įdėjus termometrą į tirpstantį ledą, jis rodo — 0,5°, o verdančio vandens garuose jis rodo + 100,7° C, esant normaliam atmosferos spaudimui (760 mm.). Vadinasi, ledo taškas randasi 0,5 peržemai, o virimo taškas 0,7 peraugštai. Taigi ir kiti temperatūros taškai nebeatitiks ant termometro skalės pažymėtiems ir reikalingi yra tam tikrų pataisų, kad galima būtų naudotis tokiu termometru, norint gauti šiek tiek tikslių rezultatų. Pataisos ledo taškui ir virimo taškui bus + 0,5 ir — 0,7. Kad surastume pataisas temperatūroms tarp ledo taško ir virimo taško, nubrėšime abscisą ir ordinatą (9 pieš.), pažymėsime ant abscisos pradedant nuo 0 iki 100 tam tikro ilgio linijos atkarpomis temperatūras. Ant ordinatos, kuri eina per apscisos tašką 0°, atidėsime surastą pataisą temperatūrai 0° + 0,5° augštyn, taip pat ant ordinatos, kuri eina per abscisos tašką 100°, atidėsime pataisą — 0,7 temperatūrai 100° žemyn. Tų dviejų ordinatų galus

sujungsime tiesia linija. Pravedus ordinatas per kitus temperatūros taškus (10⁰, 20⁰, 30⁰ ir t. t.), tų ordinatų atkarpos nuo abcisos iki tiesios linijos, jungiančios galus ordinatų atkarpų, kuriomis išreikštos pataisos temperatūrai 0⁰ ir virimo temperatūrai — ir bus pataisos įvairioms temperatūroms tarp ledo ir virimo taškų. Pavyzdžiui, jeigu mūsų termometras rodo 20⁰, tai pataisa bus + 0,25, vadinasi, reikia prie to parodymo pridėti $^1/_4$ laipsnio. Taip pat termometro padalinimui 80⁰ reikalinga pataisa — 0,6 (vadinasi, tikra temperatūra 79,4⁰). Kadangi pataisų linija perkerta abscisą taške A, kuris atitinka temperatūrai 40⁰, tai šitą temperatūrą termometras rodo tiksliai. Norint tiksliai nustatyti pataisos įvairioms temperatūroms, reikia turėti termometras-standartas su pataisomis, nustatytomis visiškai tiksliai mokslo matų įstaigoje, ir vartojamasai termometras sulyginti su standartu - termometru esant įvairioms temperatūroms, laikant abu termometrus tynėse su aliejumi, kuriose galima nustatyti ir palaikyti tą ar kitą nuolatinę temperatūrą, pradedant, sakysime, nuo paprastos temperatūros 15⁰ ar 20⁰ ir einant iki augščiausios standarto-termometro temperatūros. Ledo taškas ir virimo taškas patikrinami laikant abu termometrus tam pačiam tirpstančiam lede arba tuose pačiuose verdančio vandens garuose. Skirtumai parodymų standarto-termometro ir vartojamo termometro nustatomi mikroskopo su okulariniu mikrometru pagalba. Tie skirtumai paimti su ženklu + arba — ir bus pataisos įvairioms temperatūroms. Jeigu tas pataisas išreikšti ordinatų atkarpomis (9 pieš.) ir sujungti tų atkarpų galus, tai tikrenybėje dažniausia gausime ne tiesią liniją FAB, bet kreivą liniją FCB, arba FDB. Taigi bus skirtumas tarp tikrų pataisų ir pataisų nustatomų interpoliacijos keliu tiesios linijos FAB pagalba. Bet dažniausiai tie skirtumai bus maži, ir visais tais atvejais, kur nereikalingas didelis tikslumas, galima naudotis FAB, kaipo pataisų linija, ir, vadinasi, patikrinant termometrą pasitenkinti patikrinimu abiejų nuolatinių taškų.

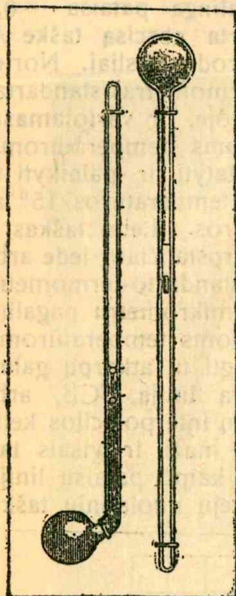


Pieš. 9.

Tais atvejais, kada nėra standarto-termometro, o atsiranda reikalas turėti tikslias pataisas, tenka termometras kalibruoti, vadinasi, nustatyti jo kapilaro skersmens didumą įvairiose vietose, kitaip sakant, išmatuoti nedidelio gyvojo sidabro stulpelio ilgį įvairiose kapilaro vietose. Reikia atskirti nuo termometro gyvojo sidabro stulpelį tokio ilgio, kad jis galima būtų atidėti tarp temperatūros 0⁰ ir temperatūros 100⁰ (arba tarp kitų kokių temperatūrų, kurių ribose daromas patikrinimas) sveiką skaičių sykių. Tai daroma atvėsinus termometro rezervuarą šaltam vandeny, kad stulpelis augščiau rezervuaro kiek sutrumpėtų, ir palenkus termometras stiebu žemyn atsargiai pirštu sutrenkiant toj vietoj, kur gyvasai sidabras iš rezervuaro pereina į kapilarą. Pakankamai pasipraktikavus visuomet galima atskirti pakankamo ilgio stulpelis. Dabar tas stulpelis nustatomas, sakysime, tarp 0⁰ ir 10⁰ ir mikroskopo su okulariniu mikrometru pagalba nustatomas skirtumas tarp to stulpelio ilgio ir ilgio, kurį užima 10⁰. Paskiau, stulpelis, lenkiant termometrą ir lengvai jį sutrenkiant, pavaromas taip, kad jis atsigultų tarp 10⁰ ir 20⁰, ir vėl tiksliai nustatomas + arba — skirtumas. Toliau tas pats daroma tarpui 20⁰ ir 30⁰ ir t. t. + arba — skirtumai išreiškiami gradų dalimis ir nustačius atskiru bandymu pataisas nuolatiniams taškams, galima dabar apskaityti pataisas kiekvienam termometro gradui ir surašyti jas lentelės pavidalu, taip kad turint tokią pataisų lentelę galima gauti ir netikru termometru naudojantis tikslius rezultatus.

Kad baigtume apie termometrus, aprašysime čia dar trumpai maximum ir minimum termometrus, kurie vartojami metereologijos stotyse fiksuoti augščiausiajai

arba žemiausiajai paros temperatūrai. 10 piešinys atvaizduoja maximum ir minimum termometrus, kurie dažnai yra vartojami, pritvirtinus juos prie tos pačios lentos. Maximum termometras (piešiny viršutinis) turi savo kapilare trumpą juodo stiklo cilindrą, kurio skersmuo mažesnis kaip kapilaro skersmuo. Prieš vartojant termometrą, reikia visuomet lengvu sutrenkimu privesti šitą stiklo cilindrą prie kontakto su gyvuoju sidabru. Kįlant temperatūrai gyvasai sidabras keičiasi, ir jo stulpelis stumia stiklo cilindrą prieš savę. Kada po pietų temperatūra ima slinkti žemyn, gyvojo sidabro stulpelis traukiasi, palikdamas juodo stiklo cilindrą toje vietoje, kuri atitinka augščiausiai dienos temperatūrai (gyvasai sidabras nešlapina stiklo ir todel traukdamasis atgal jis atsiskiria nuo stiklo cilindro). O minimum termometras (piešiny apatinis) yra spirito termometras. Jo kapilare taip pat randasi juodo stiklo trumpas cilindras. Spiritas gerai šlapina stiklą, ir todel, kįlant temperatūrai, spirito stulpas eina į priekį palikdamas vietoje stiklo cilindrą, nes tarp spirito ir to cilindro veikia labai silpnos trynimosi jėgos. Ėmus temperatūrai slinkti žemyn, spirito stulpas traukiasi atgal, ir kada spirito paviršius pasieks cilindro pryšakinį galą, tai spiritas traukia su savimi atgal ir šitą cilindrą, nes dabar apie stiklo cilindrą del šlapinimo susidaro plona spirito plėkšnelė, kuriai perplėšti reikalinga nemaža jėga. Pradėjus temperatūrai vėl kilti, spiritas slenka į priekį, palikdamas cilindrą minimum temperatūros vietoje.

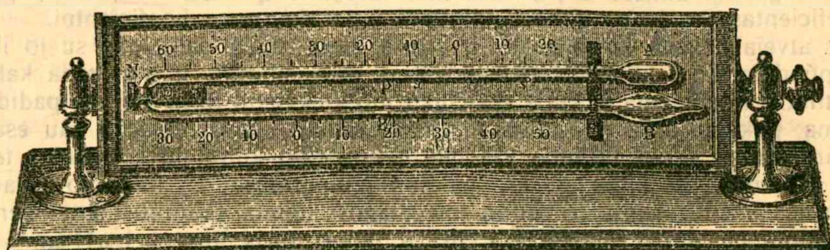


Pieš. 10.

Klinikose ir šiaipjau namie žmogaus kūno temperatūrai nustatyti ir, vadinasi, spręsti apie tai, ar yra karštis, ar ne, vartojami vadinamieji medicinos termometrai, kurie irgi yra maksimum termometrai. Jų skalė apima temperatūras nuo 36^0 iki 42^0 ir kiekvienas gradas padalintas į 10 dalių, taip kad lengvai galima atskaityti dešimtą dalį grado. Tai bus, vadinasi, jautrūs termometrai su siauru kapilaru, kuris dar ypatingai susiaurintas toje vietoje, kur kapilaras jungiasi su termometro rezervuaru. Kįlant temperatūrai, gyvasai sidabras skečiasi su pakankamu įtempimu ir sugeba per susiaurintą kapilaro vietą, nepaisant didelio trynimosi, išeiti. Taigi, patalpinus termometro rezervuarą, sakysime, po liežuviu, tas rezervuaras priims žmogaus kūno temperatūrą, ir gyvojo sidabro stulpas nusistatys, sakysime, ties bruožu, pažymėtu 38^0. Išėmus iš burnos termometrą ir padėjus jį, sakysime, ant stalo, jo rezervuaras pamaži ims vėsti ir trauktis, bet gyvojo sidabro kohezijos jėgos pasirodys persilpnos, ir rezervuaro gyvasai sidabras nepajėgs traukti su savimi gyvojo sidabro stulpą per kapilaro susiaurintą vietą. Toje vietoje gyvojo sidabro siūlas truks, ir jo stulpas kapilare rodys atsiektą temperatūrą. Taigi patogumas tokio termometro ir yra tas, kad atsiektą augščiausią temperatūrą galima atskaityti praslinkus kuriam laikui nuo matavimo laiko. Norint toksai termometras iš naujo vartoti, reikia sukrėtimu, arba sutrenkimu, gyvojo sidabro stulpas kapilare suvesti su gyvuoju sidabru rezervuare.

Metereologijos stotyse dažnai vartojamas Sixo termometras, kuris tuo pačiu laiku rodo ir maximum ir minimum temperatūrą (11 pieš.). Jis susideda iš U pavidalu sulenkto stiklinio vamzdžio, kuris pastatytas gulsčiai (pritvirtinus jį prie skalės). Jo viršutinės šakos galas išpūstas pavidalu ilgesnio cilindro A, o apatinė šaka baigiasi uždaru rutuliu B, Vidurinė termometro dalis pripilta gyvojo sidabro, o cilindras ir didžioji dalis rutulio, lygiai kaip ir likusios dalys, neužimtos gyvuojo sidabru, pripiltos gryno spirito. Rutulys užlydytas taip, kad viršum spirito jame randasi sotūs spirito garai. Be to, dar viršutinėje ir apatinėje termometro šakose kontakte su gyvuoju sidabru randasi du trumpi cilindrai iš geležies, kurie spyruoklėlių pagalba šiek tiek spaudžiami prie stiklo, taip kad slenka vamzdyje su trynimusi. Kįlant temperatūrai, cilindrinio rezervuaro spiritas skečiasi ir stumia gyvąjį sidabrą iš viršutinės šakos į apatinę šaką,

o gyvasai sidabras apatinėje šakoje stumia prieš save geležies cilindrą. Ėmus temperatūrai pulti, spiritas cilindriniame rezervuare traukiasi, ir gyvasai sidabras iš apatinės šakos varosi atgal į viršutinę šaką, palikdamas geležies cilindrą apatinėje šakoje augščiausios pasiektos temperatūros vietoje. Gyvasai sidabras, sekdamas traukiantįsi spiritą, varo priešais save viršutinėj šakoje geležies stulpelį, pakol temperatūra pradės kilti ir pakol spirito skėtimasis pradės varyti gyvąjį sidabrą iš viršutinės šakos į apatinę. Taigi padėtis geležies cilindro viršutinėje šakoje rodo žemiausią atsiektą temperatūrą, o apatinėje šakoje—augščiausią atsiektą temperatūrą. Kasdien, sakysime, iš ryto magneto pagalba reikia pritraukti geležinius stulpelius prie gyvojo sidabro vienoje ir kitoje šakoje. Savaime aišku, kad Sixo termometre gyvasai sidabras vaidina tik stumeklio vaidmenį.



Pieš. 11.

4 §. Kietų kūnų skėtimosi koeficientas. Santykis tarp ilginio, ploto ir tūrio skėtimosi koeficientų.

Komparatorius. Praktikos reikšmė kietų kūnų kitimo nuo šilimos. Pritaikymai. Pyrometras. Chronometro balansiras. Kompensuota švytuoklė.

Termometras yra pagrindinis instrumentas tokioms fizinių kūnų stovio atmainoms matuoti, kurias sukelia šilima. Taigi pirmiausia pasinaudosime termometru, norėdami išmatuoti fizinių kūnų tūrio kitėjimus sąryšy su didesniu arba mažesniu tų kūnų šilimos turiniu.

Paėmus ilgą, sakysime, geležinį stiebą, kurio diametras nedidelis, palyginti, su jo ilgiu, ir kaitinant jį, didės to stiebo ir ilgis ir skerskrodžio plotas. Bet šituo atveju galima nesiskaityti su skerskrodžio ploto (vadinasi, stiebo platumo ir storumo) padidėjimu, kreipiant akį tik į ilgio padidėjimą. Tegu to stiebo ilgis, esant temperatūrai 0^0, bus L_0 cm., o esant temperatūrai t^0 bus L_t. Tad ilgio padidėjimas, pakėlus temperatūrą t^0, bus $L_t - L_0$, o pakėlus temperatūrą 1^0 bus $\frac{L_t - L_0}{t_0}$. Padalinus šitą reiškinį L_0, vadinasi, pirmykščiu ilgiu, mes gausime $\frac{L_t - L_0}{L_0 t} = a$, kuris reiškinys rodo kiekvieno ilgio vieneto pailgėjimą, pakilus temperatūrai 1^0. Šitas dydis vadinasi fizikoje ilginis skėtimosi koeficientas. Žinant šitą dydį a galima apskaityti, koks bus kieto stiebo ilgis esant temperatūrai t^0, jeigu duotas to stiebo ilgis esant temperatūrai 0^0, vadinamasis pirmykštis ilgis, išeinant iš lygties $L_t = L_0 (1 + at)$, kuri išeina iš reiškinio skėtimosi koeficientui ir kuri vadinasi skėtimosi binomu.

Išeinant iš šito binomo galima apskaityti stiebo ilgis L_T esant temperatūrai t, jeigu duotas ilgis L_t esant temperaturai t, būtent: $L_T = L_t\ [1 + a (T - t)]$.

Turint reikalo su kieta, sakysime, keturkampe plona plokštele, kurios ilgis ir plotis yra žymiai didesni kaip storis, kaitinant tokią plokštelę galima nesiskaityti su jos storio padidėjimu ir kreipti akį tik į jos ploto padidėjimą. Taigi čia svarbu žinoti ploto skėtimosi koeficientas q, kuris yra ne kas kita, kaip kiekvieno ploto vieneto padidėjimas pakilus temperatūrai 1^0 (arba kiekvieno ploto vieneto sumažėjimas nupuolus

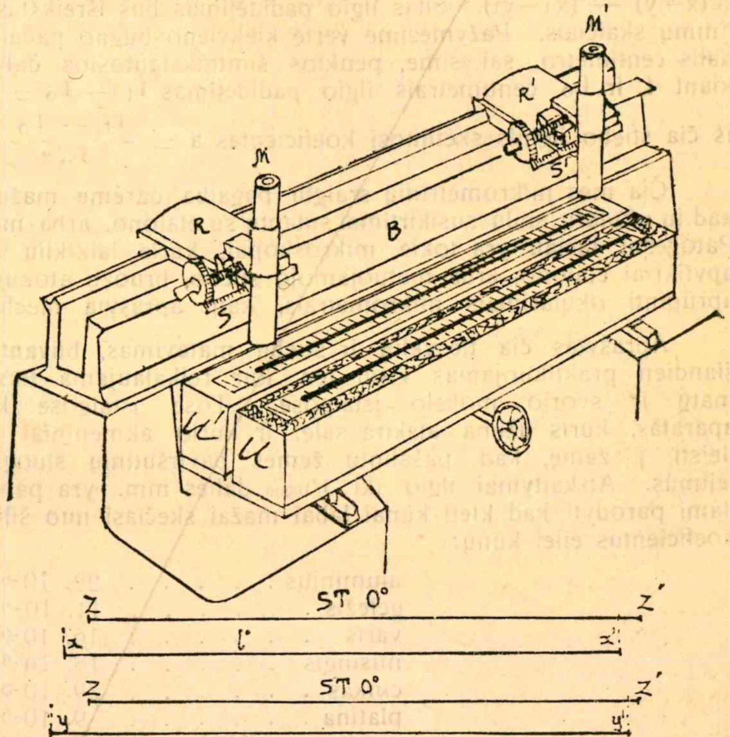
temperatūrai 1°). Norėdami surasti santykį tarp ploto ir ilgio skėtimosi koeficientų to paties kūno, įsivaizduokim sau kvadratą, kurio šono ilgis 1 centimetras esant 0° temperatūrai. Pakėlus to kvadrato temperatūrą 1°, jo plotas bus $1 + q$ cm.^{2}. Iš kitos pusės, jeigu to kvadrato medžiagos ilginis skėtimosi koeficientas yra a, tad pakilus temperatūrai 1° to kvadrato šonas pailgės a cm. ir bus lygus $1 + a$ cm., vadinasi, jo plotas bus $(1 + a)^2 = 1 + 2a + a^2$. Taigi mes turime $1 + q = 1 + 2a + a^2$, arba $\mathbf{q = 2a + a^2}$. Mes jau augščiau matėme, kad kietų kūnų kitimas nuo šilimos yra labai mažas ir, pavyzdžiui, ilginis geležies skėtimosi koeficientas yra lygus $0{,}000011 = 11.10^{-6}$. Vadinasi, tas dydis kvadrate bus dar mažesnis (121.10^{-12}), ir darant matavimus jis galima atmesti kaipo peržengiąs matavimo instrumentų tikslumo ribas. Taigi lygtyje $q = 2a + a^2$ galima atmesti a^2, ir tada mes turėsime $\mathbf{q = 2a}$. Vadinasi, ploto skėtimosi koeficientas yra lygus dukart paimtam ilgio skėtimosi koeficientui.

Tais atvejais, kada kūno plotis ir storis nėra maži palyginus su jo ilgiu, prisieina kreipti dėmesio į kūno tūrio padidėjiimą nuo šilimos, ir mes tada kalbame apie tūrio skėtimosi koeficientą b, kuris skaičius rodo kiekvieno tūrio vieneto padidėjimą arba sumažėjimą pakilus arba nupuolus temperatūrai 1°. Įsivaizduokim sau esant nulinei temperatūrai kubą, kurio briauna yra lygi 1 cm. To kubo tūris, pakėlus temperatūrą 1°, bus $1 + b$ cm.^{3}. Iš kitos pusės, pakilus temperatūrai 1°, to kubo briaunos pasidarys ilgesnės a cm., jeigu to kubo medžiagos ilginis skėtimosi koeficientas bus **a**. Taigi briauna pasidarys lygi $1 + a$ cm. ir kubo tūris bus $(1 + a)^3$ cm.^{3}. Vadinasi, $1 + b = (1 + a)^3 = 1 + 3a + 3a^2 + a^3$, arba $b = 3a + 3a^2 + a^3$. Bet iš to, kas augščiau pasakyta, išeina, kad dydžiai $3a^2$, o ypač a^3, bus labai maži, palyginus su dydžiu 3a, todel atmesdami juos mes turėsime $\mathbf{b = 3a}$. Vadinasi, žinodami ilginį kūno skėtimosi koeficientą, mes galime apskaityti jo tūrio skėtimosi koeficientą, nes tasai koeficientas bus 3 sykius didesnis kaip ilginis skėtimosi koeficientas.

Taigi matuojant kietų kūnų kitimą nuo šilimos pakanka surasti matavimo keliu tik jų ilginis skėtimosi koeficientas. Kadangi kieti kūnai labai mažai keičiasi nuo šilimos, reikia griebtis įvairių netiesioginių priemonių, norint padaryti matomais akimis labai mažus kietų kūnų pailgėjimus nuo šilimos. Dažniausiai vienas, sakysime, kieto metalinio stiebo galas įremiamas į sieną arba kitą kokią atramą taip, kad tik kitas stiebo galas, skečiantis stiebui nuo šilimos, slenka į priekį veikdamas laužtą svirtį nevienodo ilgio pečiais arba kombinacija svirties su krumpliaračiu, taip kad labai mažas stiebo galo pasistūmimas į priekį sukelia žymų ir aiškiai matomą akimis judėjimą iešmos, kurią veikia svirtis arba krumpliaratis. Bet užvis geriausių rezultatų matuojant mažus ilgio pakitėjimus šiandien galima pasiekti komparatoriaus pagalba, kuris yra pagrindinis aparatas fizikoje įvairiems ilgiams matuoti. 12 piešinys atvaizduoja tokį komparatorių. Ant dviejų masingų, akmeninių arba betoninių, šulų padėti du bėgiu, ant jų ant račiukų patalpintos dvi ilgokos dėžės. Sukant ratą, kuris matomas iš piešinio pryšakio, į vieną arba į kitą pusę galima pastūmėti dėžes į užpakalį arba į pryšakį. Į šitas dvi dėžes įdėtos dar siauresnės dėžės U U^1, į kurias, reikalui esant, galima pripilti ledo ir vandens mišinio, kad gautume 0° temperatūrą, arba aliejaus tam tikros temperatūros t°. Reikalui esant į tarpą tarp abiejų dėžių galima leisti verdančio vandens garų, kad šildytų aliejų arba palaikytų nuolatinę temperatūrą t°. Taigi vidujinės dėžės reikia paimti iš metalo, gero šilimos laidininko, o išorinės iš medžio, aptraukus jų vidų metalu. Abudu betono šulai baigiasi viršuje dviem iškyšuliais, ant kurių uždėta metalinė staklių dalis B, panaši į bėgį. Ant šitų staklių uždėti du metaliniai įrankių laikikliai R R^1 su dviem mikroskopais M M^1, kurių objektyvo vaizdo plotmėje ištempti kryžmais du ploni siūlai (vadinami voratinklio siūlai). Abudu mikroskopai sujungti su laikikliais taip, kad mikrometrinių sraigtų pagalba SS^1 galima pastūmėti juos į vieną arba kitą pusę išilgai staklių B. Mikrometrinių sraigtų eiga (atokumas tarp dviejų sraigto vingių) yra lygi 0,25 mm. O sraigtų būgnai turi 500 padalinimų, taip kad pasukus būgną per vieną padalinimą, sraigto galas pasistumia į vieną arba kitą pusę per $\frac{0{,}25}{500} = 0{,}0005$ mm., vadinasi, per 0,5 mikrono. Taigi su tokiais mikroskopais galima matuoti ilgius su tikslumu bent 0,5 mikrono.

Norint išmatuoti paimto metalinio stiebo ilgis būvant įvairioms temperatūroms, reikia turėti metrą etaloną su dviem bruožais ant jo galų, arba gerą metro etalono kopiją. Šitas metras etalonas įdedamas į vieną dėžę, sakysime, U, kuri pripilta vandens ir ledo mišinio, kad turėtų temperatūrą 0°. Del visa ko galima įdėti į tą pačią dėžę patikrintą tikslų termometrą mišinio temperatūrai kontroliuoti. Į kitą dėžę U¹, kuri irgi pripilta vandens ir ledo mišinio ir į kurią įdėtas termometras, įdedame matuojamąjį stiebą, ant kurio galų taip pat įbrėžti du bruožai.

Pradedant matuoti rato pagalba, kuris matosi iš piešinio pryšakio, dėžė U su metru etalonu pavaroma į tokią padėtį, kad metras etalonas atsidurtų po mikroskopų objektyvais. Laikikliai R ir R¹ nustatomi taip, kad atokumas tarp mikroskopų mažai skirtųsi nuo vieno metro. Keliant mikroskopus jų muftose, arba rankovėse, augštyn arba leidžiant juos žemyn, mikroskopai nustatomi taip, kad aiškiai būtų matyti etalono bruožai. Mikrometrinių sraigtų pagalba S S¹, sukant juos visuomet iš kairės pusės į dešinę, mikroskopai galutinai nustatomi taip, kad jų okularo siūlų susikirtimo taškai sutaptų su etalono bruožais. Tegu, kad atsiektum šitą padėtį, vieną mikrometrą prisiėjo pasukti iš dešinės į kairę pusę per z padalinimų, o kitą ant z_1. Atlikę tai, mes rato pagalba varome dėžę U su etalonu atgal, taip kad jo vietą užima dėžė U¹ su matuojamuoju stiebu, kurio ilgis turi mažai skirtis nuo etalono ilgio (vadinasi, jeigu etalono ilgis yra lygus 1 metrui, tad ir matuojamojo stiebo ilgis turi labai mažai skirtis nuo 1 metro). Patalpinus matuojamąjį stiebą po mikroskopo objektyvais, mikroskopai mikrometrinių sraigtų pagalba nustatomi taip, kad jų okularų siūlų susikirtimai sutaptų su matuojamojo stiebo bruožais. Tegu, norint tai atsiekti, kairįjį mikrometrą reikia pasukti per x būgno padalinimų, o dešinįjį per x_1 (žiūr. dvi linijі piešinio apačioj). Taigi sukdami mikrometro sraigtus visuomet iš kairės į dešinę pusę ir turėdami galvoj, kad skaitmens ant sraigtų būgnų eina didyn ta pačia prasme, mes galime pasakyti, kad matuojamas stiebas 0° temperatūra ilgesnis už metrą etaloną per $(z-x) - (z_1-x_1)$ būgno padalinimų, arba pažymėję stiebo ilgį 0° temperatūra L_0, o metro etalono ilgį raide l_0 mes turėsime $L_0 = l_0 + (z-x) - (z_1 - x_1)$. Dabar mes pakeičiame vandens ir ledo mišinį dėžėje U¹ aliejumi, ir leisdami verdančio vandens garus į tarpą tarp išorinės siauresnės ir išorinės platesnės dėžės keliame aliejaus temperatūrą iki t° ir reguliuojame vandens garų srovę taip, kad temperatūra t būtų pastovi. Dėžėje U, kur randasi metras etalonas, pasilieka vandens ir ledo mišinys, ir vadinasi temperatūra 0°. Toliau mes vėl pastumiame dėžę U taip, kad etalono bruožai atsidurtų po mikroskopų objektyvais, ir darome atskaitymus. Tegu tie



Pieš. 12.

atskaitymai bus kaip ir pirmą sykį z ir z_1 (žiūr. linijas 12 piešinio apačioje). Jeigu atskaitant pasirodytų nedidelis skirtumas, tai vieton z ir z_1 reikėtų paimti aritmetinis vidutinis skaičius pirmojo ir antrojo atskaitymo etalono bruožams. Padarę tai su etalonu, mes pavarome po mikroskopu dėžę U^1 su matuojamuoju stiebu ir darome atskaitymus stiebui turint temperatūrą t^0. Tegu tie atskaitymai bus y ir y_1, tad pažymėję stiebo ilgį t^0 temperatūra raide L_t mes turime $L_t = l_o + (z-y) - (z_1-y_1)$. Atimdami nuo šitos lygties pirmąją lygtį, mes rasime stiebo pailgėjimą, pakėlus jo temperatūrą t^0, būtent $= L_t - L_o = (z-y) - (z_1-y_1) - (z-x) + (z_1-x_1) = (x-y) - (x_1-y_1)$. Šitas ilgio padidėjimas bus išreikštas mikrometrų būgnų padalinimų skaičiais. Pažymėsime vertę kiekvieno būgno padalinimų raide ß (ß bus maža dalis centimetro, sakysime, penkios šimttūkstantosios dalys centimetro). Tad išreiškiant L ir L_o centimetrais ilgio padidėjimas $L_t - L_o = [(x-y) - (x_1-y_1)]$ ß cm.

Iš čia stiebo ilginis skėtimosi koeficientas $a = \frac{L_t - L_o}{L_o\, t} = \frac{[(x-y) - (x_1-y_1)]\, ß}{[l_o + (z-x)-(z_1-x_1)]\, t}$.

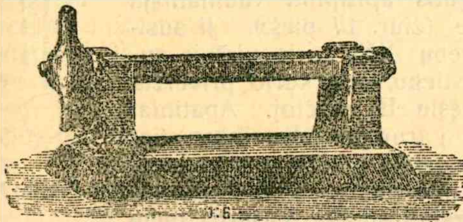
Čia mes mikrometrinių sraigtų pagalba darėme mažus pastūmimus mikroskopų, kad jų okularų siūlų susikirtimai sutaptų su etalono, arba matuojamojo stiebo, bruožais. Patogesni tačiau yra tokie mikroskopai, kurie laikiklių R ir R^1 pagalba nustatomi apytikriai etalono, arba matuojamojo stiebo, bruožų atokume. O patys mikroskopai aprūpinti okulariniais mikrometrais, kaip aprašyta mechanikos skyriuje 8—9 pusl

Aprašytas čia tiesyklių ir stiebų matavimas, būvant įvairioms temperatūroms, šiandien praktikuojamas visur ten, kur reikalaujama tikslių rezultatų ir pirmiausia matų ir svorio mokslo įstaigose. Tose įstaigose komparatorius yra didelis aparatas, kuris užima atskirą salę, ir kurio akmeniniai arba betoniniai šulai giliai įleisti į žemę, kad pašalintų žemės paviršutinių sluogsnių sutrenkimus ir krutėjimus. Atskaitymai ilgio iki $1/_{10000}$ dalies mm. yra paprasčiausias dalykas. Norėdami parodyti, kad kieti kūnai labai mažai skečiasi nuo šilimos, duosime čia skėtimosi koeficientus eilei kūnų:

aluminius	$22 . 10^{-6}$
geležis	$11 . 10^{-6}$
varis	$16 . 10^{-6}$
misingis	$18 . 10^{-6}$
cinkas	$29 . 10^{-6}$
platina	$9 . 10^{-6}$
paprastas stiklas . .	$8 . 10^{-6}$

Vienas iš labiausiai skečiančiųsi kūnų iš augščiau paduoto skaičiaus yra cinkas. Jeigu mes paimsime cinko stiebą 1 metro ilgio 0^0 temperatūra, tai binominės lygties pagalba $l_t = l_0 (1 + at)$ (čia l_t ir l_0 reiškia ilgius t^0 temperatūra ir 0^0 temperatūra) mes galime apskaityti to stiebo ilgį 100^0 temperatūra: $l_t = 1 (1 + 29 . 10^{-6} . 100)$ arba, kitaip sakant, bus lygus 1,0029 metrų. Vadinasi, cinko stiebas 1 mtr. ilgio, įkaitintas iki 100^0, pailgės tik 2,9 milimetro. Kiti gi metalai skečiasi dar mažiau, ypač labai mažai nuo šilimos skečiasi metalas platina, kuris šituo atveju mažai skiriasi nuo stiklo, turėdamas gan greit tokį pat skėtimosi koeficientą, kaip stiklas. Dėka šitos aplinkybės galima įlydyti platinos stiebą arba platinos vielą į stiklą. Stiklas atvėsdamas nesprogsta, nes stiklas traukiasi taip pat kaip ir platina ir todel nesusidaro jokio vidujinio įtempimo. Nustatant augščiau paduotus skėtimosi koeficientus turėta omeny, kad kieti kūnai tam tikrose temperatūros ribose skečiasi vienodai nuo šilimos. Bet tikrenybėje, esant augštoms temperatūroms, o ypač jau nebetoli nuo tirpimo temperatūros, dauguma metalų skečiasi žymiai smarkiau negu prie paprastų arba žemų temperatūrų ir todel, tiksliai kalbant, skėtimosi koeficientas nėra pastovus dydis. Bet daugumai kietų kūnų vidutinis skėtimosi koeficientas, apskaitytas iš ilgio padidėjimo gan plačiose ribose, labai mažai tesiskiria nuo tikrojo skėtimosi koeficiento, ir ne tik praktikoje, bet ir sprendžiant mokslo uždavinius leistina vartoti šitas vidutinis skėtimosi koeficientas, užuot vartojus mainų tikrąjį skėtimosi koeficientą.

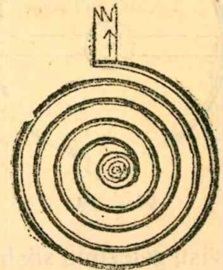
Savaime aišku, kad skėtimosi binomas įgalina mus apskaityti vielos arba stiebo ilgį esant žemesnei temperatūrai, jeigu mes žinome ilgį esant augštesnei temperatūrai. Iš $l_t = l_o (1 + at)$ išeina, kad $l_o = \frac{l_t}{1 + at} = l_t (1 - at)$ (čia tik antrasai binomo narys turi ženklą —). Toksai pat binomas vartojamas ir tūriui apskaityti. Pažymėsime tūrį t^0 temperatūra raide v_t, o 0^0 temperatūra raide v_o ir tūrio skėtimosi koeficientą raidė b. Tad $v_t = v_o (1 + bt)$ arba $v_o = v_t (1 - bt)$. Nepaisant mažo skėtimosi nuo šilimos metalai ir kiti kieti kūnai skėsdamiesi, kada jie šildomi, ir traukdamiesi, kada jie šaldomi, gali pareikšti labai didelį spaudimą vienu atveju ir labai didelį įtempimą kitu atveju, jeigu jie negalės laisvai skėstis arba laisvai trauktis. Šiuo eksperimentu galima aiškiai šitą įtempimą parodyti. Paimsime masingas geležines stakles (žiūr. 13 pieš.). Įdėsime į tas stakles storą ir stiprų metalinį stiebą AB, kuris ant galo B turi įbrėžtą sraigto liniją, o ant galo A — galvelę su skyle. Pro šitą skylę prakišime laibesnį cilindro formos stiebą ir įkaitinsime iš apačios anglių arba spirito pagalba storą geležinį stiebą. Kaitinant jį, jis gali laisvai skėstis, ir todel viskas bus tvarkoje. Bet įkaitinę pristumsime galvelę A su skersiniu stiebu prie pat staklių, o ant sraigto B užsuksime mūterką taip, kad ji irgi įsiremtų į stakles. Vėstant storas metalinis stiebas traukiasi, ir kadangi jo tas pastangas trukdo, tai jis pareiškia tokį didelį įtempimą, jog ne tik išlenkia skersinį metalinį stiebą prie galvelės A, bet tą stiebą ir perlaužia.



Pieš. 13.



Pieš. 14.

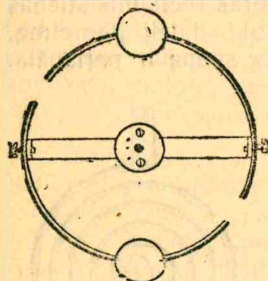


Pieš. 15.

Statant namus ir dedant geležines sijas arba darant geležines paspirtis reikia šitas turėti omeny ir palikti toms geležinėms dalims reikiamą laisvę trauktis žiemos metu nuo šalčio arba skėstis vasaros metu nuo šilimos, nes kitaip sienos gali būti suardytos. Taip pat dedant bėgius gelžkeliui reikia tarp atskirų bėgių palikti nedidelį tarpą (arba išpildyti tą tarpą elastinga ir neperkieta medžiaga), kad bėgiai galėtų laisvai skėstis vasaros metu ir trauktis žiemos metu. Jau augščiau mes minėjom, kad reikia įkaitintas geležinis lankas dėti ant rato, nes toks lankas ne tik lengvai užeina ant rato, bet vėsdamas ir traukdamasis jis kietai prisispaudžia prie rato ir kietai laikosi.

Jeigu mes sulydysime dvi plokšteles arba du stiebus iš įvairių metalų, sakysime, iš geležies ir vario, tai kaitinant tokį stiebą vienas metalas skečiasi smarkiau kaip kitas (čia varis skečiasi smarkiau kaip geležis), ir kadangi varis negali tiesioginai pailgėti, tai ta pusė stiebo, kur randasi varis, darosi išgaubta, o kur geležis — įgaubta (žiūr. 14 pieš.), nes išgaubta linija visuomet ilgesnė negu įgaubta linija. Sulydinę dvi vielas iš misingio ir plieno ir susukę tokią dvilinką vielą spyruoklio pavidalu taip, kad to spyruoklio vingių dalys būtų — vidujinė iš plieno, o išorinė iš misingio, ir sujungę spyruoklio galą su iešma laužtos svirties pagalba, mes gausime metalinį termometrą arba pyrometrą (žiūr. 15 pieš.). Kaitinant spyruoklio storą viršutinį galą, išorinė misinginė dalis skėsis smarkiau negu vidurinė plieninė dalis, ir spyruoklis užsisuks, varydamas iešmą į vieną pusę. O temperatūrai puolant, jis atsisuks varydamas iešmą į kitą pusę. Jeigu skalė, ties kuria bėgioja iešma, graduoti gyvojo sidabro termometro pagalba, tai toksai spyruoklis gali atstoti termometrą, ypač tais atvejais, kada reikia matuoti augštas temperatūras.

Tas pats principas taikomas ir kišeninio laikrodžio eigai reguluoti. Tokio laikrodžio svyruojantis balansiras susideda iš metalinio stiebelio tam tikro ilgio. Temperatūrai puolant stiebelis traukiasi, inercijos momentas mažėja (žiūr. mechaniką 86 pusl.), ir svyravimo laikas mažėja (žiūr. mechaniką 88 pusl.). Vadinasi, laikrodis ima skubintis. O kįlant temperatūrai stiebelis darosi ilgesnis, jo inercijos momentas darosi didesnis, ir svyravimo laikas didėja. Vadinasi, laikrodis ima vėluotis. Kad ir žiemos ir vasaros metu laikrodis tikrai rodytų laiką, jo balansiras aprūpinamas dviem lankais (žiūr. 16 pieš.), kurie sulydyti iš plieno ir misingio vielos tik taip, kad misingis užimtų išorinę dalį lanko. Ant lanko užmautos dvi masi mažų rutuliukų pavidalo. Vasaros metu, ilgėjant balansiro stiebeliui, lankai darosi labiau išgaubti, ir užmautos ant jų masės artinasi prie balansiro svyravimo ašies ir tiek mažina inercijos momentą, kiek balansiro padidėjimas didina jį. O žiemos metu stiebelis traukiasi, lankai darosi mažiau išgaubti (labiau išsitiesia), tolindami savo mases nuo svyravimo ašies, ir tokiu būdu didindami balansiro inercijos momentą tiek, kiek stiebelio susitraukimas jį mažina. Taigi tokie laikrodžiai eina ir žiemos ir vasaros metu tikrai ir dažnai vadinasi chronometrais.


Pieš. 16.


Pieš. 17.

Taip pat sieniniai laikrodžiai su paprasta švytuokle žiemos metu skubinsis del švytuoklės ilgio sumažėjimo, o vasaros metu vėluosis del švytuoklės ilgio padidėjimo. Kad sienos laikrodžiai nesiskubintų ir nesivėluotų, reikia juos aprūpinti vadinamąja kompensacijos švytuokle (žiūr. 17 pieš.). Ji susideda iš dviejų cinko stiebų XX, kurie viršuje sujungti trumpu skersiniu stiebu, prie kurio priveržta geležinė švytuoklė su lęšiu E apačioj. Apatiniai cinko stiebų galai įremti į trumpus skersinius stiebus, priveržtus prie galų dviejų geležinių stiebų ee, sujungtų viršuje irgi skersiniu stiebu. Visa švytuoklė kaba už šito viršutinio skersinio stiebo. Vasaros metu ir visų geležinių stiebų ilgis didėja ir cinko stiebų. Tik visi geležiniai stiebai tista čia žemyn, o cinko stiebai tista augštyn. Vadinasi, geležiniai stiebai žemina švytuoklės masės centrą, o cinko stiebai kelia jį augštyn. Kad masės centras pasiliktų visuomet toj pačioj vietoj, arba, tiksliau sakant, to pat atokumo nuo svyravimo ašies, reikia geležiniai stiebai ir cinko stiebai parinkti taip, kad ištisimas visų geležinių stiebų žemyn būtų lygus ir, vadinasi, būtų kompensuotas ištisimu cinko stiebų augštyn. Pritaikymas skėtimosi binomo lengvai veda prie išvados, kad geležies stiebų ir cinko stiebų ilgiai turi būti atvirkščiai proporcingi jų skėtimosi koeficientams. Kadangi cinko skėtimosi koeficientas yra 2,6 sykių didesnis kaip geležies skėtimosi koeficientas, tad abiejų cinko stiebų ilgis turi būti 2,6 sykių mažesnis, kaip trijų geležies stiebų ilgis.

Pagaliau pažymėsime čia dar, kad iš dviejų metalų, sakysim, geležies ir misingio su įvairiais skėtimosi koeficientas galima pagaminti tiesyklė, kurios ilgis nedidelėse temperatūros ribose nesikeičia. Taip pat lydinant įvairius metalus galima pagaminti toks lydinys, kuris turi labai mažą skėtimosi koeficientą ir nedidelėse temperatūros ribose nemaino savo ilgio. Toksai lydinys, pavyzdžiui, bus, jeigu sulydyti 36% nikelio ir 64% plieno. To lydinio skėtimosi koeficientas bus dar 10 sykių mažesnis, kaip platinos skėtimosi koeficientas. Todel tas lydinys vadinasi „Invar" ir vartojamas įvairiems kompensacijos tikslams. Ir kvarco stiklas, arba kvarco siūlai, turi labai mažą skėtimosi koeficientą, kuris yra 20 sykių mažesnis kaip paprasto stiklo skėtimosi koeficientas.

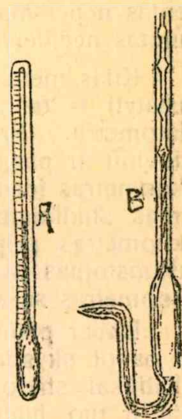
5 §. Skystų kūnų skėtimosi koeficientas. Dilatometrai.

Dulong'o ir Petit'o metodas tikrajam skysčių skėtimosi koeficientui surasti. Vandens skėtimosi savybės. Barometro redukavimo arba apskaitymo temperatūrai 0^0 formula.

Kalbant apie skystų kūnų skėtimąsi nuo šilimos svarbu nustatyti tik kubinis jų skėtimosi koeficientas, nes praktiškai su skysčiais tenka manipuliuoti induose, taip-

kad mainantis temperatūrai atitinkamai mainosi skysčio tūris. Kadangi tuo pačiu laiku mainosi ir indo tūris, sakysime, šildant indo tūris darosi didesnis, tai matuodami skysčių skėtimąsi induose iš tos ar kitos medžiagos, mes gausime mažesnį skaičių skysčio skėtimosi koeficientui negu tai būtų, jeigu mes galėtume paimti tam tikro skysčio tūrį be indo ir išmatuoti to tūrio padidėjimą šildydami. Paėmę, sakysime, nedidelę stiklo bonką ilgu ir siauru kaklu ir pripildę ją kokiu nors skystimu merksime ją į karštą vandenį. Iš pradžios mes pastebėsime, kad skystimo meniskas bonkos kakle nusileis kiek žemyn, taip kad mums atrodys, kad skystimo tūris lyg sumažėjo. Bet greitai skystimo meniskas bonkos kakle ims kilti augštyn. Įmerkus bonką į karštą vandenį, šilima pirmiausia suteikiama bonkai. Taigi jos tūris padidės tuomet, kada skystimo temperatūra dar nespės pasikeisti, ir todel iš pradžios, padidėjus indo tūriui ir pasiliekant skystimo tūriui be atmainos, jo augštis pasidarys mažesnis. Paskiau ims kilti augštyn ir skystimo temperatūra, ir kadangi skystimai skečiasi nuo šilimos žymiai smarkiau kaip kieti kūnai, tai skystimo meniskas inde aiškiai kils augštyn. Turint tai omeny fizikoje kalbama apie matomąjį ir apie tikrąjį skysčių skėtimosi koeficientą. Matomasai skysčių skėtimasis, temperatūrai augant, yra dviejų procesų išdava: indo skėtimosi ir skysčio skėtimosi, ir tam matomajam skėtimuisi surasti ir, vadinasi, matomojo skėtimosi koeficientui apskaityti galima pasinaudoti žemiau aprašytais trimis metodais.

Pirmas metodas tai yra skysčio tūrio padidėjimo nustatymas tūrio dilatometro pagalba. Papraščiausias dilatometras turi termometro pavidalą (žiūr. 18 pieš.). Bet toksai dilatometras nepatogus, nes jį sunku išvalyti ir pripilti skystimo. Daug patogiau ir lengviau manipuliuoti su dilatometru U pavidalu sulenkto stiklinio vamzdžio (žiūr. 18 B pieš.). Vieną to vamzdžio šaka trumpesnė ir atlenkta stačiu kampu, kita šaka apačioj išpūsta pavidalu didesnio rutulio arba cilindro, o augščiau, tam tikruose atokumuose, pavidalu mažesnių rutuliukų, ties kurių viduriu įbrėžti bruožai padalinimai. Darbas su tokiu dilatometru prasideda jo valymu, plovimu su vandeniu arba net ir su šarmu ir su spiritu, ir sausinimu. Paskum tas dilatometras paliekamas svarstyklių dėžėje, kad gautų svarstyklių temperatūrą, pusvalandžiui ar daugiau. Gavus dilatometrui svarstyklių temperatūrą, einama prie jo kalibravimo. Įleidus trumpesnės dilatometro šakos atlenktą galą į gryną ir sausą gyvąjį sidabrą ir čiulpiant kaučuko vamzdžio pagalba, kuris užmautas ant kitos dilatometro šakos, dilatometras pripilamas gyvojo sidabro. Prieš tai dilatometras reikia atsverti. Pripylus gyvojo sidabro taip pat reikia atsverti. Atsargiai išpilant, arba išpučiant, gyvąjį sidabrą nuo bruožo iki bruožui, kiekvieną sykį dilatometras iš naujo atsveriamas, ir tuo būdu surandami gyvojo sidabro svoriai nuo bruožo iki bruožui, lygiai kaip ir gyvojo sidabro svoris rutulio arba cilindro pavidalo išpūstoje dilatometro dalyje. Savaime aišku, kad tie gyvojo sidabro svoriai yra proporcingi atitinkamiems dilatometro tūriams nuo bruožo iki bruožui. Tegu, pavyzdžiui, tuščias dilatometras sveria 12,5 gram., pripiltas gyvojo sidabro iki 2-jo padalinimų bruožo sveria 245,6 gr., pripiltas iki 1-jo bruožo — 244,2 gr. (vadinasi, išpylus arba išpūtus nuo 2-jo iki 1-jo bruožo) ir pagaliau pripiltas gyvojo sidabro iki nuliniam bruožui (toj vietoj, kur išpūsta dalis pereina į siaurą dalį) sveria 243 gr. Pažymėsime dilatometro tūrį iki nulinio bruožo raide V_0, nuo nulinio iki 1-jo bruožo raide V_{01}, ir nuo 1-jo iki 2-jo bruožo raide V_{12}. Iš augščiau pasakyta išeina, kad $V_0 : V_{01} : V_{12} = 230{,}5 : 1{,}2 : 1{,}4$.



Pieš. 18.

Išpylus visą gyvąjį sidabrą, dilatometras merkiamas į ledo ir vandens mišinį. Tam pačiam mišiny laikomas indas su bandomuoju skystimu. Kada tas skystimas, lygiai kaip ir dilatometras, gaus temperatūrą 0°, jis įtraukiamas į dilatometrą gangreit iki bruožui 0 (ne visiškai tą bruožą pasiekiant). Dilatometras nušluostomas filtravimo popierium, trumpesnės jo šakos atlenktas galas skubiai užlydomas lydomosios lemputės pagalba ir jis įdedamas į indą su vandeniu 0° temperatūros greta su termometru

(į vadinamąją vandeninę tynę). Šildydami indą su vandeniu, arba vandeninę tynę, ir gerai maišydami, mes galime skaityti, kad kiekvienu momentu dilatometras turės tynės temperatūrą. Norint būti visiškai tikru šituo atžvilgiu, sveika turėti dilatometro išpūstoje dalyje grūtė stiklo gabaliukų, kurie, judinant dilatometrą, maišys skystimą jame ir tuo būdu pagreitins temperatūros susilyginimą dilatometro skystime. Tegu skystimas dilatometre pasiekia nulinį bruožą, kada termometras tynėje rodo temperatūrą 4^0, pasikelia iki pirmojo bruožo esant 14^0 temperatūrai ir iki 2-jo bruožo esant 25^0 temperatūrai. Laikysime pirmykštį skystimo tūrį proporcingu skaičiui 230,5 ir pažymėsime matomąjį bandomo skystimo skėtimosi koeficientą raide b^1. Tad to skystimo matomasis tūrio padidėjimas, pakilus temperatūrai nuo 4^0 iki 14^0, vadinasi 10^0, bus $230{,}5 \times b' \times 10^0$. Iš augščiau paduotos proporcijos išeina, kad tas padidėjimas bus lygus 1,2. Taigi matomasis skystimo skėtimosi koeficientas $b' = \frac{1{,}2}{230{,}5 \cdot 10} = 0{,}000522$ temperatūros ribose nuo 4^0 iki 14^0.

Temperatūros intervalui $14^0 - 25^0$ tas matomasis skystimo tūrio padidėjimas bus, einant augščiau paduota proporcija, $1{,}4 = 230{,}5 \times b' \times 11$, iš kur išeina $b' = \frac{1{,}4}{230{,}5 \cdot 11} = 0{,}000553$. Taigi šitas pavyzdys rodo, kad esant augštesnėms temperatūroms skėtimosi koeficientas darosi didesnis, ir todel duodant skėtimosi koeficientus visuomet reikia nurodyti temperatūros, kurių ribose jis nustatytas. Vidutinis skėtimosi koeficientas galima naudoti įvairiems apskaitymams tik tais atvejais, kada tas koeficientas nepersmarkiai keičiasi temperatūrai augant, arba kada tas vidutinis koeficientas paimtas nedideliam temperatūros intervalui.

Kitas metodas, bet jau mažesnio tikslumo, matomajam skėtimosi koeficientui nustatyti — tai paprasto piknometro vartojimas, kuris tokiais atvejais vadinasi svorio dilatometru. Pradedant darbą su piknometru ir jis reikia pirmiausia išvalyti ir išdžiovinti ir pagaliau atsverti. Tegu tuščias piknometras sveria p. gr... Atsvėrus piknometras įdedamas į tynę su vandeniu ir ledu, kurioje laikomas ir bandomas skystimas stikliniam inde. Kada tas skystimas ir piknometras gaus temperatūrą 0^0, tai piknometras pripilamas, esant jam tynėje, skystimo iki bruožo; išimamas iš tynės, nušluostomas švariu skarmalu arba filtruojamuoju popierium ir atsveriamas. Tegu piknometras su skystimu 0^0 temperatūra sveria $p + W_0$ gr.

Dabar piknometras įleidžiamas į tynę su vandeniu temperatūra t^0 ir laikomas ten pakol skystimas jame įgaus tą temperatūrą. Sveika ir į piknometrą įmesti keli gabaliukai stiklo, kad judinant piknometrą geriau galima būtų sumaišyti skystimas jame ir tuo būdu greičiau išlyginti jo temperatūrą. Pakilus temperatūrai skystimo tūris padidės, ir jo meniskas pakils piknometre augščiau bruožo. Siauro filtruojamojo popieriaus lapeliuko pagalba reikia nuimti visas skystimas augščiau bruožo, jeigu piknometras neturi prietaiso, kad skystimas, pakilęs augščiau bruožo, galėtų išsilieti. Išėmus piknometrą iš tynės ir nušluosčius, jis atsveriamas. Tegu su skystimu jis sveria dabar $p + w_t$ gr.

Iš šitų davinių galima apskaityti matomasis skystimo skėtimosi koeficientas. Pažymėsime piknometro tūrį iki bruožo raide v ir priimsime, kad tas tūris neperdidelėse temperatūros ribose labai mažai mainosi palyginant su skysčio tūrio pasikeitimu. Tad mes galime pasakyti, kad esant 0^0 temperatūrai piknometre iki bruožų tilpsta w_0 gr. skystimo, o esant t^0 temperatūrai w_t gr. Vadinasi, 1 gr. skystimo 0^0 temperatūra užima tūrį $\frac{V}{W_0}$ cm.³, o t^0 temperatūra $\frac{V}{W_t}$ cm.³. Taigi tūrio padidėjimas 1 gr., pakilus temperatūrai nuo 0^0 iki t^0, bus $\frac{V}{W_t} - \frac{V}{W_0}$, o pakilus temperatūrai tik 1^0 bus $\frac{1}{t}\left(\frac{V}{W_t} - \frac{V}{W_0}\right)$. Šilimos skėtimosi koeficientu mes vadiname kiekvieno pirmykščio tūrio vieneto padidėjimą pakilus temperatūrai 1^0. Pirmykštis tūris čia bus 1 gr. tūris

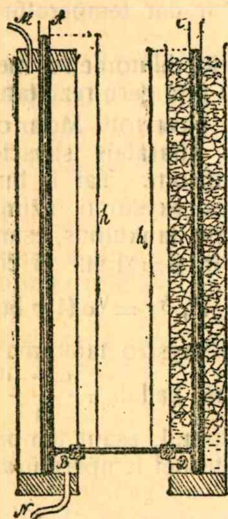
0^0 temperatūra, būtent: $\frac{V}{W_o}$. Taigi skėtimosi koeficientas paimtam skysčiui bus $b = \frac{1}{t}\left(\frac{V}{W_t} - \frac{V}{W_o}\right) : \frac{V}{W_o} = \frac{1}{t} \cdot \frac{W_o - W_t}{W_t}$. Vadinasi, norint surasti piknometro pagalba bet kuriam skysčiui skėtimosi koeficientą, reikia surasti, kiek sveria skystimas piknometre iki bruožų 0^0 temperatūra ir t^0 temperatūra (pastarasai svoris, kaip tai savaime aišku, bus kiek mažesnis, kaip svoris esant temperatūrai 0^0), paimti tų abiejų svorių skirtumą ir padalyti tas skirtumas svoriu esant temperatūrai t^0 ir dar temperatūrų skirtumu, esant kurioms piknometras buvo pripilamas skystimo.

Šitas metodas tikslumo atžvilgiu yra kiek prastesnis, kaip tūrio dilatometro metodas, bet juo greičiau galima padaryti eksperimentas ir visgi prieiti prie gerų rezultatų.

Pagaliau skysčio skėtimosi koeficientui nustatyti galima dar pavartoti Mohr'o-Westfal'io svarstykles arba hidrostatines svarstykles, nustatant tais aparatais skysčio lyginamąjį svorį, arba tankumą, esant dviem įvairiom temperatūrom. Tai ir bus trečias metodas šitam dydžiui surasti. Tegu p gramų kokio nors skystimo užima tūrį v_o temperatūra 0^0 ir tūrį v_t temperatūra t^0. Pažymėję to skysčio tankumus, esant temperatūroms 0^0 ir t^0, raidėmis d_o ir d_t, mes turėsime $p = v_o\, d_o$ ir $p = v_t\, d_t$. Iš čia išeina $\frac{v_o}{v_t} = \frac{d_t}{d_o}$ arba $\frac{v_o}{v_o(1+bt)} = \frac{d_t}{d_o}$, nes tūris, esant temperatūrai t^0, $v_t = v_o(1+bt)$, jeigu mes skysčio skėtimosi koeficientą pažymėsime raide b. Taigi skysčio tankumas, esant temperatūrai 0^0, $d_o = d_t\,(1+bt)$ arba $\frac{d_o}{d_t} = (1+bt)$, iš kur išeina, kad $b = \frac{d_o - d_t}{d_t\, t}$, žodžiais: skysčio skėtimosi koeficientas yra lygus jo tankumų skirtumui, esant temperatūrai 0^0, ir augštesnei temperatūrai padalinus tankumu, esant augštesnei temperatūrai, ir temperatūrų skirtumu, esant kurioms buvo nustatytas tankumas.

Pažymėsime tikrąjį arba absolutinį kokio nors skystimo skėtimosi koeficientą raide b, o indo medžiagos, kuriame randasi skystimas, raide g. Šildant tame inde skystimą nuo 0^0 temperatūros ligi t^0 temperatūros, jo tūris padidės nuo v_o ligi v_t, taip kad $v_t = v_o\,(1+bt)$. Bet tuo pačiu laiku ir indo tūris padidės, taip kad kiekvienas indo kubinis centimetras pasidarys lygus $1+gt$ cm.³. Del tos priežasties mums atrodys, kad skystimo tūris padidės mažiau kaip tai būtų, jeigu indo tūris nesikeistų kintant temperatūrai. Nes didėjant indo tūriui, vadinasi, didėjant jo skerskrodžio plotui, skystimo paviršius inde pasislinks kiek žemyn. Taigi kiekvienas paimto skystimo kub. centimetras pasidarys lygus ne $1+bt$ cm.³, bet $\frac{1+bt}{1+gt}$ cm.³, taip kad išmatuoti, esant 0^0 temperatūrai, v_o cm.³, esant t^0 temperatūrai, užims tūrį $\frac{v_o\,(1+bt)}{1+gt} = v_o\,[1+(b-g)t] = v_t$. Vadinasi, matomasis ir faktiškai matuojamasis tūrio padidėjimas bus $v_o\,(b-g)\,t$, ir $b-g$ bus ne kas kita, kaip matomasis skystimo skėtimosi koeficientas, kurį mes jau anksčiau pažymėjome raide b^1. Iš $b^1 = b - g$ išeina $b = b^1 + g$. Vadinasi, tikrasai arba absolutinis skėtimosi koeficientas b yra ne kas kita, kaip suma skysčio matomojo skėtimosi koeficiento ir indo tikrojo skėtimosi koeficiento. Jeigu mes turėtumėm tokį indą, kurio tūris nesikeičia kintant temperatūrai, tai jo pagalba mes galėtumėm išsyk surasti tikrąjį skysčio skėtimosi koeficientą. Kalbant apie kietų kūnų skėtimosi koeficientą buvo jau pasakyta, kad kvarcas turi iš žinomų mums kietų kūnų visų mažiausią skėtimosi koeficientą, būtent, 0,000002. Taigi šildant skystimą kvarco inde galima visiškai nesiskaityti su to indo tūrio skėtimusi, nes jis bus labai mažas palyginti su skystimo tūrio skėtimusi. Tikrajam skysčio skėtimosi koeficientui nustatyti šiandien ir vartojami indai iš kvarco. Bet tokie indai yra brangūs ir todel laboratorijose dažniau tenka vartoti stiklinius indus. Iš tai, kas augščiau pasakyta, išeina, kad, žinant stiklo skėtimosi koeficientą ir dilatometro pagalba suradus skysčio matomąjį skėtimosi koeficientą, galima tuojau apskaityti tikrasai skėtimosi koeficientas, sudėjus tikrąjį stiklo ir surastą matomąjį skysčio koeficientus. Bet stiklai būna įvairios sudėties ir turi nevienodą skėtimosi koeficientą. Taigi reikalinga atskiru eksperimentu

surasti vartojamo stiklo indo skėtimosi koeficientas. Šitas uždavinys žymiai palengvintas dėka Dulong'o ir Petit'o pirmą sykį pavartoto ir šiandien fizikoje priimto metodo tikrajam skysčių skėtimosi koeficientui surasti. Aparatas Dulong'o ir Petit'o (žiūr. 19 pieš.) yra ne kas kita, kaip didelis susisiekimo indas, kurį sudaro du ilgi vamzdžiai AB ir CD, sujungti apačioje skersiniu siauresniu vamzdžiu BD. Abudu vamzdžiai, kaip rodo piešinys, įdėti į rankoves (muftas) pavidalu dviejų platesnių stiklo cilindrų. Abu galu vieno cilindro (kairiojo) užkimšti korko arba kaučuko kamščiais, per kuriuos eina vamzdžiai NM. Pro vamzdį N galima leisti į šitą cilindrą verdančio vandens garus, kurių perteklius eis pro vamzdį M laukan. Tuo būdu apie susisiekimo indo kairiąją šaką AB mes galime nustatyti verdančio vandens temperatūrą, vadinasi, 100°. Rankovę, arba muftą, dešiniosios susisiekimo indo šakos CD mes galime pripilti ledo ir vandens mišinio ir, vadinasi, galime laikyti tą šaką 0° temperatūra. Pripilsime susisiekimo indą gyvojo sidabro augščiau viršutinio kamščio ir, pripylę ledo ir vandens mišinio į dešinę rankovę, imsime leisti verdančio vandens garus į kairiąją rankovę arba į kairįjį stiklo cilindrą. Tuo būdu gyvojo sidabro temperatūra dešiniojoje susisiekimo indo šakoje bus 0°, o kairiojoje 100°, ir, vadinasi, gyvojo sidabro tankumas dešiniajam vamzdy bus didesnis, kaip kairiajam vamzdy. Pažymėsime gyvojo sidabro tankumus, kai yra 0° ir 100° temperatūros, ženklais d_0 ir d_{100}. Mes jau žinome iš hidrostatikos, kad pusiausvyrai esant susisiekimo inde įvairaus tankumo skystimai nusistato abiejose šakose taip, kad tų skystimų augščiai yra atvirkščiai proporcingi jų tankumams. Šitas dėsnis, žinoma, pritaikomas ir čia, ir gyvojo sidabro stulpų augščiai abiejuose induose pareina tik nuo gyvojo sidabro tankumo, esant 0° temperatūrai ir 100° temperatūrai, ir visiškai nepareina nei nuo susisiekimo indo šakų formos, nei nuo jų tūrio. Vadinasi, ir tų šakų tūrio padidėjimas dėl priežasties temperatūros pakilimo arba sumažėjimas dėl priežasties temperatūros puolimo visiškai neatsiliepia gyvojo sidabro stulpo augščiams vienoje ir kitoje šakoje. Užvis geriau tuos augščius išmatuoti katetometro pagalba, skaitant nuo skersinio vamzdžio lygumos. Nesant katetometrui galima tarp abiejų susisiekimo indo šakų pritaikinti tam tikrą skalę (neleistina tačiau naudotis padalinimais ant susisiekiamojo indo abiejų vamzdžių!). Tegu tie augščiai bus h_{100} ir h_0.



Pieš. 19.

Taigi mes turėsime $\frac{h_{100}}{h_0} = \frac{d_0}{d_{100}}$, eidami susisiekiamųjų indų dėsniu. Kadangi $d_{100} = \frac{d_0}{1+b.100}$ (čia b yra tikrasai gyvojo sidabro skėtimosi koeficientas), tad $\frac{h_{100}}{h_0} = 1+b.100$. Iš čia $b = \frac{h_{100}-h_0}{h_0.100}$.

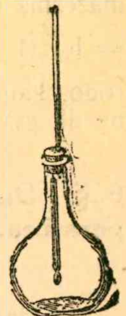
Šituo metodu Dulong'as ir Petit'as pirmieji nustatė tikrąjį gyvojo sidabro skėtimosi koeficientą ir rado jį lygų 0,000182. O žinodami šitą skėtimosi koeficientą, mes galime tūrio arba svorio dilatometro pagalba, arba net Mohr'o-Westfal'io svarstyklėmis, surasti matomąjį gyvojo sidabro skėtimosi koeficientą $b^1 = b - g$ ir jau iš čia apskaityti stiklo skėtimosi koeficientą $g = b - b^1$ (tikrojo ir matomojo gyvojo sidabro skėtimosi koeficientų skirtumas). Taigi žinant gyvojo sidabro ar net kito kurio skysčio tikrąjį skėtimosi koeficientą lengva nustatyti dilatometro skėtimosi koeficientas ir dilatometro pagalba surasti tikrasai skėtimosi koeficientas įvairių skysčių. Bet Dulong'o ir Petit'o metodas pasilieka kaipo pagrindinis metodas tikrajam skysčių skėtimosi koeficientui surasti. Minėtų tyrinėtojų ir kitų, o ypač Regnault'o, šituo metodu nustatyti skėtimosi koeficientai daugybei skysčių. Duosime čia kelis pavyzdžius:

Eteris 0,00163
Spiritas 0,00110

Glicerinas	. . . . .	0,00050
Gyvasai sidabras	. .	0,000182
Vanduo	. . . . . .	0,000180

Visi šitie skėtimosi koeficientai yra tikslūs esant 18^0 temperatūrai ir visi yra žymiai didesni, kaip kietų kūnų skėtimosi koeficientai. Esant augštesnėms temperatūroms skysčiai skečiasi smarkiau, vadinasi, kįlant temperatūrai skysčių skėtimosi koeficientai auga, bet nevienodai: vienų skysčių smarkiau, kitų skysčių lėčiau. Įdomią išimtį sudaro vanduo. Paėmus vandenį, sakysime, esant kambario temperatūrai ir vėsinant jį, jo tūris kaip ir kitų skysčių traukiasi pakol bus pasiekta 4^0 temperatūra. Vėsinant toliau iki 0^0 vandens tūris didėja, taip kad paimtas kiekis vandens turi mažiausią turį, kai yra 4^0 C temperatūra, ir, vadinasi, kai esti toji temperatūra, vanduo turi didžiausį tankumą. Todel vieno litro vandens masė 4^0 C temperatūra ir priimta kaipo masės vienetas (1 kilogramas). Norint demonstruoti ir išmatuoti šitą vandens elgesį stiklo inde reikia griebtis ypatingų priemonių, nes paprastame stiklo inde vandens skėtimasis nuo 4^0 C ligi 0^0 C bus užmaskuotas indo tūrio sumažėjimu, kuris kels vandens paviršių inde augštyn.

Tam tikslui reikia paimti stiklo bonką (žiūr. 20 pieš.), pripilti ją destiluoto vandens, įpilti tam tikrą kiekį gyvojo sidabro, kad būtų kompensuotas indo skėtimasis gyvojo sidabro skėtimusi, ir užkimšti šitą bonką kaučuko kąmščiu, per kurį iškištas stiklo vamzdis, taip kad vanduo tam vamzdy pakiltų kiek augščiau kamščio. Be to, iš apačios į kamštį įleistas termometras, kuris, visas būdamas vandeny, rodys vandens temperatūrą. Gyvojo sidabro vaidmenį čionai paaiškinsime pavyzdžiu. Tegu stiklo bonkos tūris bus 100 cm^3. Pakilus temperatūrai 1^0, jos tūris padidės $0{,}00002 \times 100 = 0{,}002$ cm^3. Del tos priežasties vandens paviršius stiklo vamzdyje atitinkamai nupuls žemyn. Bet gyvojo sidabro tūris irgi padidės ir del tos priežasties vandens paviršius vamzdyje pakils augštyn. Vadinasi, į bonką reikia įpilti tiek gyvojo sidabro, kad jo tūrio padidėjimas būtų lygus bonkos tūrio padidėjimui. Kadangi gyvojo sidabro skėtimosi koeficientas yra 10 sykių didesnis, kaip kubinis stiklo skėtimosi koeficientas (apskritai tie koeficientai gyvajam sidabrui yra 0,0002 ir 0,00002), tai aišku, kad į kolbą reikia įpilti 10 cm^3. gyvojo sidabro, arba 136 gr. Tokiomis aplinkybėmis vandens bonkoje skėtimasis arba susispaudimas visiškai nepareis nuo bonkos tūrio pakitėjimo, ir aiškiai pasirodys, kad vėsinant vandenį, įdėjus bonką į tynę su vandens-ledo mišiniu, vanduo trauksis, vadinasi, jo paviršius bonkoje slinks žemyn iki 4^0 C. Vėsinant toliau, vanduo vėl ims skėstis, vadinasi, paviršius jo kils augštyn, pasiekdamas 0^0 temperatūra tokį augštį, kuriame tas paviršius vamzdyje stovėjo tada, kada vandens temperatūra bonkoje buvo lygi 8^0 C.


Pieš. 20.

Šita vandens ypatybė turi didelės reikšmės gamtoje. Atėjus žiemai, vanduo mūsų upėse ir ežeruose atiduoda šilimą (vėsta) iš paviršiaus. Atvėsę paviršutiniai sluogsniai darosi sunkesni ir slenka žemyn. Jų vietą užima šiltesni ir lengvesni viduriniai sluogsniai. Taigi vėstant vandeniui, paviršiuje mes turime vienų vandens sluogsnių slinkimą žemyn, o kitų kilimą augštyn, kuris judėjimas fizikoje vadinasi konvekcija. Aišku, kad vandeny ir šiaipjau skysčiuose temperatūra išsilygina konvekcijos keliu. Bet vandeniui vėstant nuo paviršiaus, per kurį laiką ant upės arba ežero dugno, vadinasi, žemiausioje vietoje, atsiras vandens sluogsniai didžiausio tankumo. Jų temperatūra, vadinasi, bus 4^0 C, ir tik tada, kada ir augštesnieji sluogsniai vandens atvės iki temperatūros 4^0 C, prasidės tolimesnis vėsimas vandens paviršutinių sluogsnių. Bet tie sluogsniai bus lengvesni kaip sluogsniai, kurių temperatūra 4^0 C, ir jie nebeslinks žemyn, taip kad pagaliau ledas susidarys tik ežero arba upės paviršiuj. Kadangi ledas ir pats vanduo blogi šilimos laidininkai, tai reikalinga daug laiko ir didelio šalčio, kad ir gilesni vandens sluogsniai galėtų virsti ledu. Mūsų klimato sąlygose to niekuomet neatsitinka, ir iš vienos pusės, atėjus pavasariui, saulės spinduliai greičiau sutirpina paviršutinius ledo sluogsnius, o iš kitos pusės, žiemos metu, žuvys ir kiti gyviai randasi vandeny, kurio temperatūra nėra žemesnė kaip 4^0 C.

Visa tai liečia gryną vandenį arba tokį vandenį, kuriame randasi labai mažai ištirpintų druskų. Jūros vanduo, kaipo turįs žymų nuošimtį druskos (kai kuriose vietose iki 2,5%), elgiasi kitaip, būtent: traukiasi gangreit iki to temperatūros taško, prie kurio prasideda darytis ledas, taip kad jūros vandeniui maximum tankumo apsireiškia žemiau 0^0.

Kalbėdami apie barometrus aerostatikos skyriuje, mes sakėme, kad kiekvienas barometro atskaitymų visuomet reikia perskaityti arba redukuoti 0^0 temperatūra, kitaip sakant, įnešti pataisą į barometro atskaitymą gyvojo sidabro skėtimuisi nuo šilimos. Tegu tikrasai gyvojo sidabro skėtimosi koeficientas bus b ir tegu, esant t^0 temperatūrai, (prie barometro visuomet turi būti termometras) mes atskaitėme gyvojo sidabro stulpo h mm. Pažymėsime atitinkamą gyvojo sidabro stulpo augštį 0^0 temperatūra raide h_0, tad $h = h_0, (1 + bt)$ ir iš čia $h_0 = \frac{h}{1+bt} = h\,(1-bt)$. Taigi, norint redukuoti barometro parodymas 0^0 temperatūra reikia nuo barometro parodymo t^0 temperatūra atimti tą barometro parodymą, padaugintą iš gyvojo sidabro skėtimosi koeficiento ir iš temperatūros t^0 (h b t). Šita pataisa būtų pakankama, jeigu kįlant temperatūrai barometro skalė nesikeistų. Bet skalė irgi skečiasi nuo šilimos, tarpai tarp skalės bruožų darosi didesni, ir del tos priežasties gyvojo sidabro stulpas atrodo žemiau stovįs. Taigi reikalinga dar pataisa skalės skėtimuisi. Pažymėsime ilginį skalės skėtimosi koeficientą raide ß. Tad kiekvienas skalės milimetras 0^0 temperatūra pasidarys lygus $1 + ßt$ t^0 temperatūra, kitaip sakant, $1 + ßt$ sykių didesnis. Taigi atskaitytas gyvojo sidabro stulpo augštis h, esant t^0 temperatūrai, bus $1 + ßt$ sykių mažesnis negu reikia ir, vadinasi, tikras jo augštis, esant t^0 temperatūrai, bus $h\,(1+ßt) = h_0\ (1 + bt)$. Iš čia $h_0 = \frac{h\,(1+ßt)}{1+bt} = h\ [1 - (b-ß)\ t]$. Paskutinis reiškinys rodo, kaip reikia redukuoti barometro parodymas esant 0^0 temperatūrai, imant domėn ne tik gyvojo sidabro skėtimasis, bet ir skalės skėtimasis.

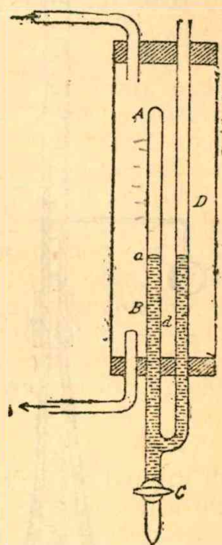
6 §. Dujų skėtimosi koeficientas. Gay-Lussac'o dėsnis. Absolutinė temperatūra. Dujų stovio lygtis (sujungtas Boyle-Mariott'o—Gay-Lussac'o dėsnis). Vandenilio termometras.

Eidami prie dujų šilimos savybių nagrinėjimo, mes vėl susiduriame su ypatingai paprastais santykiais. XIX šimtmečio pačioj pradžioj Gay-Lussac'as, remdamasis savo tyrinėjimais, paskelbė, kad visos dujos vienodai skečiasi nuo šilimos, būtent: pakilus temperatūrai 1^0 jų tūris didėja $^1/_{273}$ pirmykščio tūrio (nupuolus temperatūrai 1^0, tūris mažėja $^1/_{273}$ dalies pirmykščio tūrio). Taigi išeina, kad visos dujos turi tą patį skėtimosi koeficientą, būtent, $^1/_{273} = 0{,}00366$. Šitas faktas žinomas fizikoje kaipo Gay-Lussac'o dėsnis. Reikia čia tačiau pabrėžti, kad dar anksčiau, kaip Gay-Lussac'as, Charles, tyrinėdamas dujų šilimos savybes (1785—1786), priėjo prie tokių pat išvadų. Kaip jau buvo minėta aerostatikos skyriuje, Charles buvo užsiėmęs tuo klausimu sąryšy su aerostato problema.

Reikia pasakyti, kad ir Gay-Lussac'o dėsnis, nelyginant kaip ir Boyle-Mariott'o dėsnis, nėra pilnai tikslus. Bet skirtumai skėtimosi koeficiento įvairioms dujoms tose pačiose temperatūros ribose ir toms pačioms dujoms labai plačiose temperatūros ribose yra tokie maži, jog daugumoje atsitikimų galima laikyti šitą koeficientą pastoviu dydžiu, priimant visais atvejais už pirmykštį tūrį dujų tūrį, esant 0^0 temperatūrai ir normaliniam atmosferos spaudimui.

Norint nustatyti dujų tūrio skėtimosi koeficientas galima pasinaudoti aparatu, kurį atvaizduoja 21 piešinys. Jis susidaro iš susisiekiamojo indo ABD, kurio vamzdis A uždaras, o vamzdis D atdaras. Susisiekiamasai indas apačioje baigiasi trumpesniu vamzdžiu su kranu C. Ant viršutinės abiejų susisiekiamųjų vamzdžių A ir D dalies užmautas platesnis stiklo cilindras atitinkamai išpjautų dviejų kaučuko kamščių pagalba. Be to, per abu kamščiu iškišti du trumpi sulenkti stiklo vamzdžiai. Pagaliau, arba

vamzdis A turi būt graduotas kubiniais centimetrais, arba prie aparato turi būt pritaikinta skalė, kurios pagalba galima būtų atskaityti uždarytas vamzdyje A oro arba šiaipjau dujų tūris. Į susisiekimo indą, į atdarą vamzdį pilamas gyvasai sidabras (galima pilti ir koncentruota sieros rūgštis — tad nereikia oro arba šiaipjau dujų vamzdy A sausinti) pasirūpinus prieš tai, kad oras arba šiaipjau dujos uždaromi tuo būdu vamzdyje A būtų sausi ir be priemaišų. Gyvasai sidabras paprastai nusistatys augščiau vamzdyje D, nes pilant gyvąjį sidabrą oras vamzdyje A bus suspaustas. Bet atidarę kraną C, mes atsargiai visuomet galime nuleisti į pastatytą po vamzdžiu C indą tiek gyvojo sidabro, kad jis abiejuose vamzdžiuose stovėtų to paties augščio. Tada oro spaudimas vamzdyje A bus lygus atmosferos spaudimui. Dabar platesnį stiklo cilindrą žemojo atlenkto vamzdžio pagalba mes pripilame smulkaus ledo ir vandens mišinio. Oras vamzdyje A traukiasi, gyvasai sidabras tame vamzdy kįla augštyn, o vamzdy D eina žemyn. Laukiama pakol gyvojo sidabro judėjimas sustos, vadinasi, pakol oras įgaus temperatūrą 0^0 ir užims tam tikrą tūrį. Kadangi oro tūris pareina ne tik nuo temperatūros, bet ir nuo išorinio spaudimo, tai norint eliminuoti spaudimo įtaką reikia atskaityti oro užimtas tūris augštesne ir žemesne temperatūra, kai esti tas pat išorinis spaudimas. Norint tai atsiekti į vamzdį D atsargiai pilamas atvėsintas iki 0^0 temperatūros gyvasai sidabras patol, pakol jis pasieks tą patį augštį abiejuose vamzdžiuose. Atskaitysime dabar oro užimtą tūrį ir pažymėsime jį raide v_0.



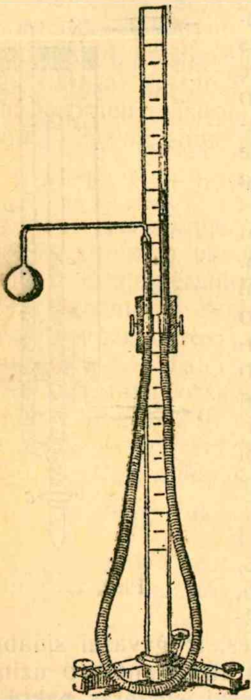
Pieš. 21.

Išleidę ledo ir vandens mišinį iš stiklo cilindro, varome į tą cilindrą pro vieną atlenktą vamzdį verdančio vandens garus, taip kad jų perteklius, lygiai kaip ir susikondensavęs vanduo, išeitų per kitą atlenktą vamzdį. Tuo būdu mes pakelsime uždaryto vamzdy A oro temperatūrą ligi 100^0. Oro tūris padidės, ir gyvasai sidabras vamzdy A nuslinks žemyn, o vamzdy D pakils augštyn. Prieš atskaitant oro užimtą tūrį reikia dabar atsargiai atidarius kraną C nuleisti vėl gyvasai sidabras pakol jo augštis abiejuose induose A ir D nepasidarys tas pats. Dabar mes turime didesnį oro tūrį, atitinkantį augštesnei temperatūrai, bet esant tam pačiam išoriniam spaudimui, kaip ir 0^0 temperatūra. Atskaitysime šitą oro tūrį ir pažymėsime raide v_{100}. Iš šitų dviejų atskaitymų galima apskaityti oro šilimos skėtimosi koeficientas. Pažymėję jį raide α, mes turėsime $\alpha = \frac{V_{100} - V_0}{V_0 . 100}$.

Tegu, esant 0^0 temperatūrai ir p_0 spaudimui, mes turime v_0 cm.^{3} bet kurių dujų. Pakelsime tą dujų temperatūrą iki t^0 palikdami tą patį spaudimą p_0. Dujų tūris padidės iki v_t. Einant Gay-Lussac'o dėsniu $v_t = v_0 (1 + \alpha t)$, jeigu dujų skėtimosi koeficientas pažymėtas raide α. Suspausime dabar dujas iki jų pirmykščio tūrio v_0 nemainydami temperatūros t^0. Einant Boyle-Mariott'o dėsniu, atatinkamai padidės dujų spaudimas iki p_t. Taigi, eidami Boyle-Mariott'o dėsniu, mes turėsime $v_0 p_t = v_t p_0 = v_0 p_0 (1 + \alpha t)$, arba $p_t = p_0 (1 + \alpha t)$. Vadinasi, jeigu dujos šildomos taip, kad jų tūris nesimaino, tai mainosi jų spaudimas, ir spaudimo skėtimosi koeficientas visoms dujoms yra tas pats kaip tūrio skėtimosi koeficientas, būtent, $\alpha = {}^1/_{273}$ pirmykščio dujų spaudimo (pirmykščiu dujų spaudimu mes vadiname jų spaudimą 0^0 temperatūra). Taigi norint apskaityti dujų spaudimas esant bet kuriai temperatūrai, pradedant nuo spaudimo esant 0^0 temperatūrai, veikia ta pati Gay-Lussac'o binominė lygtis, kaip ir dujų tūriui apskaityti. Savaime suprantama, kad Gay-Lussac'o binomo antrasai narys reikia paimti su ženklu —, apskaitant dujų tūrį arba spaudimą esant temperatūroms žemesnėms kaip 0^0.

Šita išvada iš Gay-Lussac'o dėsnio gali būti patikrinta eksperimento keliu pagalba aparato, kurį atvaizduoja 22 piešinys. Aparatas panašus į Weinhold'o aparatą Boyle-Mariott'o dėsniui demonstruoti ir susideda iš nedidelio stiklinio indo rutulio (dažnai cilindro) pavidalu nuo 100 iki 150 cm.^{3} tūrio. Šitas indas rezervuaras stiklo

kapilaro pagalba sujungtas su platesniu stiklo vamzdžiu, kurio viršutinėje daly, ten, kur kapilaras prilydytas prie jo, randasi ženklas pavidalu stiklo arba net ir platinos štifto. Tasai stiklo vamzdis stipraus ir ilgesnio kaučuko vamzdžio pagalba sujungtas su kitu tokiu pat stiklo vamzdžiu atdaru iš viršaus, taip kad susidaro susisiekiamasis indas. Abu vamzdžiu prijungti prie augštos lentos su padalinimais, kuri kietai sujungta su trikoju. Trikojis remiasi ant grindų sraigtais, kurių pagalba galima visuomet suteikti lentai statinę (vertikalinę) padėtį. Dešinysis stiklo vamzdis kietai sujungtas su medine mufta, kurios pagalba galima šitą vamzdį kelti augštyn arba leisti žemyn ir fiksuoti jį reikalingoj vietoj, pritraukus sraigtais muftą. Šitas aparatas duoda galimumo nustatyti dujų spaudimą esant dviem įvairiom temperatūrom, nemainant dujų tūrio. Norint gauti tikslius rezultatus reikia aparato indas rezervuaras iš pat pradžios prileisti sauso ir laisvo nuo visokių priemaišų, kaip, pav., anglies rūgštis, sieros vandenilis, gryno oro (arba bet kurių kitų chemiškai grynų dujų), nes nors ir mažas, bet yra šioks toks skirtumas tarp įvairių dujų skėtimosi koeficiento atžvilgiu. Bet tais atvejais, kada nėra reikalo siekti perdidelio skirtumo, galima pasitenkinti išskiriant iš oro ir kitų dujų drėgmę, nes aplamai ir vidutiniškai skirtumai tarp įvairių dujų ir jų mišinių skėtimosi koeficiento atžvilgiu yra labai maži. Prileidus rezervuarą sauso oro, į atdarą vamzdį pilamas sausas ir grynas gyvasai sidabras, pakol jo meniskas pasirodys uždarame (kairiajame) vamzdy. Paėmus platesnį stiklo indą ir pripylus jį vandensledo arba vandens-sniego mišinio, jis pakišamas iš apačios po rezervuaru taip, kad visas rezervuaras atsidurtų ledo-vandens mišiny. Oras rezervuare vėsta ir traukiasi. Gyvasai sidabras uždarame vamzdy del tos priežasties kįla augštyn, o atdarame vamzdy slenka žemyn. Jeigu gyvasai sidabras ima lįsti į kapilarą, tad reikia dešinįjį vamzdį leisti žemyn, kad nė vienas gyvojo sidabro lašelis nepatektų į rezervuarą. Toksai gyvojo sidabro judėjimas trunka patol, pakol oras rezervuare atvėsta iki 0^0 temperatūros, vadinasi, pakol nusistatys nuolatinė temperatūra. Jeigu, nusistačius nuolatinei temperatūrai, gyvojo sidabro meniskas uždarame vamzdy stovėtų žemiau ankščiau minėto stiklo arba platinos štifto, tai reikia kelti dešinysis vamzdis augštyn, pakol meniskas pasieks tą štiftą. Padarius tai ir įsitikinus, kad gyvasai sidabras nebejuda, reikia mastinės tiesyklės pagalba arba, dar geriau, katetometro pagalba atskaityti gyvojo sidabro meniskų padėtį uždarame ir atdarame vamzdžiuose. Tų atskaitymų skirtumas duos gyvojo sidabro stulpo augštį h_0, kuris kartu su atmosferos spaudimu atsveria oro spaudimą rezervuare 0^0 temperatūra. Taigi norint surasti šitą oro spaudimą greta su aparatu reikia turėti dar barometras. Tegu barometras rodo B mm. gyvojo sidabro stulpo. Tad oro 0^0 temperatūra spaudimas $H_0 = B + h_0$, nes čia, kaip rodo piešinys, gyvasai sidabras stovės augščiau atdarame vamzdy, kaip uždarame. Bet gali būti ir toks atsitikimas, kad gyvasai sidabras atdarame vamzdy stovės žemiau negu uždarame vamzdy. Tad aišku, kad $H_0 = B - h_0$.



Pieš. 22.

Atėmus indą su vandens-ledo mišiniu, pakišamas iš apačios kitas indas taip, kad rezervuaras iki kapilaro užlenkimo atsidurtų tam inde, kuris piešiny yra panašus į rankovę, arba muftą, taip kad galima būtų į šitą indą varyti verdančio vandens garus ir, vadinasi, pakelti rezervuaro ir uždaryto jame oro temperatūrą ligi 100^0. Dabar oro tūris skečiasi ir varo žemyn gyvąjį sidabrą uždarame vamzdy, o atdarame vamzdy augštyn. Keldami augštyn atdarą vamzdį, mes vėl privarome gyvojo sidabro meniską iki štifto. Jeigu meniskas nesilaiko toje vietoje, o vis dar slenka žemyn, tai reiškia, kad oras rezervuare dar neįgavo 100^0 temperatūros. Visą laiką atsargiai, pamaži keliant augštyn atdarą vamzdį, reikia palaikyti gyvąjį sidabrą uždarame vamzdy

taip, kad jo meniskas liestų štiftą. Įsitikinus, kad meniskas nebeslenka žemyn, vadinasi, kad oras rezervuare yra pasiekęs nuolatinę temperatūrą, reikia atskaityti ant skalės arba katetometro pagalba vėl gyvojo sidabro meniskų skirtumas. Tegu tas meniskų skirtumas bus h_{100} ir tegu barometras vėl rodo B mm., tad uždaryto oro spaudimas tam pačiam tūry, kaip 0^0 temperatūra, esant 100^0 temperatūrai bus $H_{100} = B + h_{100}$. Šitų dviejų atskaitymų pakanka spaudimo skėtimosi koeficientui arba dujų elastingumo koeficientui α surasti, nes $H_{100} = H_0 (1 + 100\,\alpha)$, ir iš čia $\alpha = \frac{H_{100} - H_0}{100\,H_0}$

Darydami šitą eksperimentą, mes nepriėmėm domėn rezervuaro tūrio padidėjimo kįlant temperatūrai. Daugely atsitikimų, kur nereikalaujamas perdidelis tikslumas, galima nesiskaityti su rezervuaro tūrio padidėjimu, nes stiklo arba net ir metalų skėtimosi koeficientas yra žymiai mažesnis, kaip dujų skėtimosi koeficientas. Bet, reikalui esant, galima priimti domėn rezervuaro tūrio pasikeitimą, norint gauti tikslesnį skaičių dujų skėtimosi koeficientui. Pažymėsime stiklo ilginį skėtimosi koeficientą raide β. Tad, kaip mes jau žinome, kubinis jo skėtimosi koeficientas bus $3\,\beta$ ir, vadinasi, rezervuaro tūris, šildant jį iki 100^0, padidės $1 + 3\,\beta\,.\,100$ sykių. Einant Boyle-Mariott'o dėsniu, tas rezervuaro tūrio padidėjimas atitinkamai sumažins oro rezervuare spaudimą esant 100^0 temperatūrai. Vadinasi, atskaitytas mūsų spaudimas H_{100} bus $1 + 3\,\beta\,.\,100$ sykių mažesnis negu reikia. Taigi spaudimo koeficientui apskaityti, užuot ėmus lygtį $H_{100} = H_0 (1 + 100\,\alpha)$, reikia paimti lygtį $H_{100} (1 + 3\,\beta\,.\,100) = H_0 (1 + 100\,\alpha)$, iš kur $\alpha = \frac{H_{100} - H_0}{100\,H_0} + 3\,\beta\,\frac{H_{100}}{H_0}$.

Reikia pasakyti, kad šitas metodas dujų skėtimosi koeficientui nustatyti yra daug patogesnis ir duoda tikslesnių rezultatų, kaip dujų tūrio matavimas, kai esti įvairios temperatūros nesimainant išoriniam spaudimui, nes tūrių matavimas visuomet yra gana keblus dalykas.

Tariant, kad dujų skėtimosi koeficientas ir būvant žemoms temperatūroms pasilieka tas pats, galima pastatyti klausimas, kokiai temperatūrai esant dujos susitrauks iki nuliniam tūriui? Iš lygties $v_t = v_0 (1 + \alpha t)$ išeina, kad $v_t = 0$ tada, kada $1 + \alpha t = 0$. Iš čia išeina, kad $t = \frac{-1}{\alpha} = -1 : \frac{1}{273} = -273^0$ C. Vadinasi, esant temperatūrai -273^0, dujos turi susitraukti iki nuliniam tūriui. Taip pat jų spaudimas, kai esti šita temperatūra, turi pasidaryti lygus nuliui. Fizikoje jau senai priimta laikyti absolutiniu temperatūros nuliu šitą tašką, kuris randasi 273^0 žemiau kaip ledo tirpimo taškas, taip kad ledo tirpimo temperatūrai išeina skaičius $+ 273^0$, skaitant nuo absolutinio temperatūros nulio, ir visi temperatūros skaičiai darosi teigiamais skaičiais, pavyzdžiui: vandens virimo temperatūra pagal Celsijaus termometrą 100^0 C, skaitant nuo absolutinio nulio, bus $100 + 273 = + 373$. Aplamai temperatūra t^0 pagal Celsijaus termometrą bus $t + 273 = T$, skaitant nuo absolutinio nulio. Šita temperatūra fizikoje vadinasi absolutine temperatūra ir visuomet žymima raide T.

Tikrasai absolutinės temperatūros nulis reikštų tokį fizinių kūnų stovį, esant kuriam išnyksta visokie šilimos efektai. Taigi pirmiausia kįla klausimas, ar yra toks fizinių kūnų stovis? Antra vertus, iš anksto aišku, kad absolutinės temperatūros nulis nepasiekiamas, nes jam pasiekti reikėtų tūrėti kūnas, kurio temperatūra yra žemesnė už absolutinį nulį, o tai jau būtų vidujinis prieštaravimas (contradictio in se). Be to, kaip mes pamatysime šilimos skyriuje vėliau, žemiausios temperatūros fizikoje atsiekiamos dujų skystinimo ir garavimo pagalba, ir visos mums žinomos dujos dar nepasiekę absolutinio nulio pereina į skystą stovį ir net į kietą stovį, vadinasi, dujiškasai fizinių kūnų stovis išnyksta prieš pasiekiant absolutinį nulį. O kaip atrodo skystas ir kietas fizinių kūnų stovis arti absolutinio nulio, mes aiškių žinių apie tai šiandien neturime. Čia galima tik konstatuoti, kad prieš kelerius metus žemiausia atsiekta temperatūra buvo $- 268{,}6$ arba absolutiniai $+ 4{,}4^0$ A — skysto helijaus virimo temperatūra esant normaliniam atmosferos spaudimui. Pastaraisiais metais Leyden'o universiteto fizikas Kammerlingh Onnes, pagarsėjęs savo darbais žemų temperatūrų srityje,

paskelbė spaudoje, kad jam pasisekę pasiekti temperatūra — 271,25° C arba + 1,75° A. Kaip pats profesorius sako, tas rezultatas pasisekęs jam gauti per 25 metus sunkaus darbo, darant pastangas gauti helijus kietame stovy. Kiek metų bus reikalinga pažeminti temperatūrai dar 1,75° ir pasiekti absolutiniam nuliui, ir ar tai galima, aplamai kalbant, pasilieka atviras klausimas.

Taigi absolutinis nulis nėra konkretus dalykas, ir į jį reikia žiūrėti kaipo į tam tikrą matematinę fikciją, kuri žymiai suprastina formulas, reiškiančias santykius įvairių dujiško stovio savybių. Tas suprastinimas reiškiasi pirmiausia tuo, kad visur tenka turėti reikalo su teigiamais temperatūros skaičiais. Be to, mes, vartodami absolutinę temperatūrą, prieiname prie ypatingai paprastos lygties, kuri jungia Boyle-Mariott'o ir Gay-Lussac'o dėsnius. Trumpai kalbant, absolutinis nulis yra ne tiek konkretus fizikos dalykas, kiek patogumo dalykas, nelyginant kaip kampų matavimas radianais, vietoj gradais.

Pažymėsime vėl tūrį bet kurio kiekio bet kurių dujų, esant 0° C temperatūrai, raide v_0 (pradžios tūrį) ir spaudimą raide p_0. Tad tūris v_t, esant t^0 temperatūrai ir tam pačiam spaudimui p_0, bus $v_t = v_0 (1 + \alpha t) = v_0 \alpha \left(\frac{1}{\alpha} + t\right)$, bet $\frac{1}{\alpha} = 273$. Vadinasi, skliaustuose mes turime absolutinę temperatūrą T. Todel $v_t = v_0 \alpha T$. Iš čia išeina $\frac{v_t}{v_0} = \alpha T = T : \frac{1}{\alpha} = \frac{T}{T_0}$. Žodžiais: dujų tūriai tiesiog proporcingi jų absolutinėms temperatūroms, nesimainant spaudimui. Taip pat iš lygties $p_t = p_0 (1 + \alpha t)$ mes gausime santykį $\frac{p_t}{p_0} = \frac{T}{T_0}$ (čia kaip ir augščiau $T_0 = 273$, o $T = 273 + t$). Žodžiais: dujų spaudimai tiesiog proporcingi absolutinėms temperatūroms, nesimainant jų tūriui. Šiuo du dėsniu yra ne kas kita, kaip du variantu Gay-Lussac'o-Charles dėsnio. Be to, mes turime Boyle-Mariott'o dėsnį, kuris sako, kad dujų tūris yra atvirkščiai proporcingas jų spaudimui, nesimainant temperatūrai, arba išreiškiant matematiškai $\frac{p}{p_0} = \frac{v_0}{v}$, arba $pv = p_0 v_0 = const.$ Šituos tris dėsnius galima sujungti į vieną dėsnį ir išreikšti viena lygtimi. Išspręsime tokį uždavinį. Tegu bet kurių dujų vieno gramo tūris bus v_0 esant 0° temperatūrai, arba absolutinei T_0 ir esant spaudimui p_0, ir tegu tų pačių dujų tas pats kiekis užims tūrį v esant absolutinei temperatūrai T ir spaudimui p. Klausimas, kaip pereiti nuo dydžių v_0, p_0, T_0 prie dydžių v, p, T arba, kitaip sakant, kokia lygtimi pirmieji trys dydžiai surišti su kitais trimis? Palikdami spaudimą p_0, pakelsime dujų temperatūrą nuo 0° iki t^0. Dujų tūris padidės iki $v_t = v_0 (1 + \alpha t) = v_0 \alpha T$. Pagaliau, palikdami temperatūrą T be atmainos, padidinsime dujų spaudimą nuo p_0 ligi p. Jų tūris atitinkamai sumažės iki v. Kadangi tūriai v_t ir v veikia tai pačiai tamperatūrai T, tai, einant Boyle-Mariott'o dėsniu, $vp = v_t p_0$, arba $vp = v_0 p_0 \alpha T$, nes $v_t = v_0 \alpha T$. Iš šitos lygties išeina $\frac{vp}{v_0 p_0} = \alpha T = T : \frac{1}{\alpha} = \frac{T}{T_0}$, arba $\frac{vp}{T} = \frac{v_0 p_0}{T_0} = k$ (const.). Vadinasi, dujų tūrio ir spaudimo sandauga yra tiesiog proporcinga absolutinei temperatūrai, esant kuriai tūris ir spaudimas nustatyti, arba, kitaip sakant, santykis tarp šitos sandaugos ir jai atitinkančios absolutinės temperatūros yra pastovus dydis paimtoms dujoms. Šitas pastovus dydis, arba konstanta, yra lygi $\frac{v_0 p_0}{T_0} = v_0 p_0 \alpha$. Vadinasi, norint tą konstantą surasti, reikia išmatuoti pradžios tūrį 1 gr. paimtų dujų arba tūrį esant 0° temperatūrai ir normaliniam atmosferos spaudimui p_0 ir paimti surasto tūrio, normalinio spaudimo ir Gay-Lussac'o koeficiento sandaugą. Kadangi, esant 0° temperatūrai ir normaliniam atmosferos spaudimui, 1 gr. oro, 1 gr. vandenilio, 1 gr. azoto ir t. t. užima nevienodus tūrius, tai aišku, kad šita konstanta bus įvairioms dujoms nevienoda (įvairioms dujoms turės įvairios reikšmės). Bet šitame šilimos skyriuje kiek vėliau mes pasipažinsime su vadinamąja Avogadro taisykle, kuri tiesiog išeina iš kinetinės dujų teorijos ir kuri sako, kad jeigu įvairios

dujos užima vienodus tūrius esant tam pačiam spaudimui ir tai pačiai temperatūrai, tai tuose tūriuose randasi tas pats dujų molekulų skaičius. Iš čia išeina, kad gramo-molekulų įvairių dujų tūris, esant tam pačiam spaudimui ir tai pačiai temperatūrai, yra vienodas. Būnant 0^0 temperatūrai ir normaliniam atmosferos spaudimui tas tūris bet kurių dujų gramo-molekulai yra lygus 22,412 litrų, arba 22.412 kub. centimetrų. Taigi jeigu mes visuomet operuosime su dujų gramo-molekula, tai pradžios tūris v_0 visoms dujoms bus tas pats, jeigu spaudimas p_0 bus tas pats, sakysime, normalinis atmosferos spaudimas. O kadangi skėtimosi koeficientas α visoms dujoms yra irgi tas pats, tad aišku, kad $v_0 . p_0 . \alpha$ visoms dujoms bus tas pats dydis. Šitas dydis fizikoje vadinamas dujų konstanta ir visuomet žymimas didžiąja raide R.

Jau mes hidrodinamikos skyriuje matėme, kad skysčių arba dujų spaudimas p yra ne kas kita, kaip skysčių arba dujų tūrio vieneto potencinė energija, vadinasi, į sandaugą pv reikia žiūrėti kaipo į energiją. Taigi konstanta $R = p_0 v_0 \alpha$ gali būti išreikšta energijos absolutiniais vienetais arba ergais. Normalinis atmosferos spaudimas yra gyvojo sidabro stulpo spaudimas, kurio augštis 0^0 temperatūra yra lygus 76 cm. Mes jau žinome, kad tas spaudimas yra lygus jėgai 1033 gr. 1 kvadr. cm., arba išreikšdami tą spaudimą dinomis turėsime 1033.981, nes mūsų geografinėj platumoj žemės traukos greitėjimas yra lygus 981 centimetrui per sekundą. Taigi konstanta $R = p_0 v_0 \alpha = \frac{1033 . 981 . 22412}{237} = 83 . 10^6$ ergų, arba $\frac{83 . 10^6}{10^7} = 8,3$ jaulių, nes 1 jaulis yra lygus 10^7 ergų. Taigi lygtis $pv = p_0 v_0 \alpha T$ tampa lygtimi $pv = RT$. Šita lygtis ir nustato santykius kiekvienu atveju tarp temperatūros, spaudimo ir tūrio, o tais trimis dydžiais fizinis dujų stovis yra aiškiai apibrėžtas. Taigi šita lygtis yra santrauka Boyle-Mariotto ir Gay-Lussac'o dėsnių į vieną dėsnį ir jos pagalba galima surasti vienas iš augščiau minėtų dydžių, jeigu žinomi du kiti.

Iš kinetinės dujų teorijos mes jau žinome, kad tūrio ir spaudimo sandauga yra lygi $^2/_3$ dujų kinetinės energijos. Vadinasi, $pv = \frac{2}{3} \frac{MC^2}{2} = RT$. Iš čia išeina, kad $\frac{MC^2}{2} = \frac{3}{2} RT$; žodžiais: kinetinė dujų energija yra tiesiog proporcinga absolutinei temperatūrai, arba dujų molekulų vidutinio greitumo kvadratas yra proporcingas absolutinei temperatūrai. Prie šito klausimo mes dar grįšime sąryšy su mechanine šilimos teorija.

Remiantis Gay-Lussac'o dėsniu galima naudotis dujomis, kaipo medžiaga pavyzdingam termometrui arba termometrui standartui, kurio pagalba galima tikrinti gyvojo sidabro termometrus. Einant Gay-Lussac'o dėsniu, dujų tūris arba jų spaudimas mainosi tiesiog proporcingai temperatūrai ir todel, išmatavus tūrį arba spaudimą ir žinant pradžios tūrį arba spaudimą, galima tiksliai apskaityti temperatūra, nes dujų šilimos skėtimosi koeficientas plačiose temperatūros ribose, ypač vadinamosioms pernamentinėms dujoms, yra pastovus dydis ir, be to, yra žymiai didesnis už kietų kūnų skėtimosi koeficientą, taip kad dažnai galima nesiskaityti su rezervuaro, kuriame randasi dujos, tūrio padidėjimu arba sumažėjimu. Dažniausiai kaipo medžiaga dujų termometrui vartojami vandenilis arba azotas, ir pats dujų termometras atrodo labai panašus į aparatą, kurį atvaizduoja 22 piešinys. Stiklo rezervuarą, rutulio pavidalo, reikia prileisti vandenilio arba deguonies, vietoj oro, nes šitos dujos labiau laikosi Gay-Lussac'o dėsnio, kaip oras. Pirmiausia reikia termometras graduoti, arba, kitaip sakant, nustatyti vandenilio spaudimas 0^0 temperatūra (nustatyti vadinamasis pradžios spaudimas). Taigi po rezervuaru iš apačios pakišamas indas su vandens-ledo mišiniu, laukiama, pakol vandenilis įgaus 0^0 temperatūrą arba pakol gyvasai sidabras nustos kilęs augštyn kairiajam vamzdy ir slinkęs žemyn dešiniajam, neprileidžiant prie to, kaip jau anksčiau pasakyta, kad gyvasai sidabras patektų į rezervuarą, ir atsargiai keliant augštyn (arba, reikalui esant, leidžiant žemyn) dešinįjį vamzdį, gyvojo sidabro meniskas kairiajam vamzdy nustatomas ties štiftu. Katetometro pagalba reikia dabar nustatyti gyvojo sidabro menisko abiejuose vamzdžiuose padėties skirtumas h_0 ir

atskaityti barometras. Tegu barometras rodo spaudimą b. Tad pradžios spaudimas bus $b + h_0 = H_0$. Norint patikrinti gyvojo sidabro termometras reikia paimti tynę su vandeniu arba gyvuoju sidabru, arba ir kuriuo kitu skystimu, ir pakišti šitą tynę iš apačios po vandenilio rezervuaru, įdedant į tynę ir tikrinamąjį termometrą. Reguliuojamos lempos pagalba galima suteikti tynės skystimui bet kurią temperatūrą t^0. Vandenilis rezervuare skėsis ir varys gyvojo sidabro meniską kairiajame vamzdy žemyn. Kada vandenilis įgaus nuolatinę tynės temperatūrą, atsargiai keldami augštyn dešinįjį vamzdį mes nustatome gyvojo sidabro meniską ties štiftu kairiajame vamzdy ir katetometro pagalba nustatome meniskų padėties skirtumą abiejuose vamzdžiuose h_t. Tegu barometras rodo spaudimą b, tad vandenilio spaudimas t^0 temperatūra tam pačiam tūry kaip ir 0^0 temperatūra bus $b + h_t = H_t$. Iš šitų davinių galima surasti tikrąją tynės temperatūrą, nes $H_t = H_0 (1 + \alpha t)$, iš kur $t = \frac{H_t - H_0}{H_0 \alpha}$, ir šitą temperatūrą t^0 sulyginti su gyvojo sidabro termometro parodymu. Jeigu imti dar domėn vandenilio rezervuaro tūrio padidėjimą, tai, kaip jau augščiau išaiškinta, reikia parašyti lygtį: $H_t (1 + 3 \beta t) = H_0 (1 + \alpha t)$, iš kur išeina $t = \frac{H_t - H_0}{\alpha H_0 - 3 \beta H}$. Čia ß, kaip ir augščiau, reiškia rezervuaro medžiagos skėtimosi koeficientą. Kad rezultatai būtų dar tikslesni, reikėtų dar padaryti pataisą kapilaro, jungiančio rezervuarą su kairiuoju vamzdžiu, tūrio pasikeitimui. Bet paėmus šitą kapilarą mažo diametro ir nedidelio ilgio, šitoji pataisa tebus reikalinga tik išimties atsitikimais, taip kad mes čia tos pataisos apskaitymo neliesime. Atkartosime čia dar, kad naudojantis vandeniliu, kaipo termometro medžiaga, visuomet matuojami jo spaudimai, o ne tūriai, nes tiksliai išmatuoti dujų spaudimas yra prastesnis ir lengvesnis darbas, kaip tiksliai išmatuoti jų tūris. Taigi mes galime dabar apibrėžti temperatūros vienetą, arba 1^0 C kaipo tokį temperatūros pakilimą, kuris padidina vandenilio spaudimą tam pačiam tūry $^1/_{100}$ to spaudimo padidėjimo, kurį reiškia vandenilis tam pačiam tūry, keliant jo temperatūrą nuo ledo tirpimo temperatūros ligi verdančio vandens, esant normaliniam atmosferos spaudimui, garų temperatūros.

Jeigu tokio vandenilio termometro rezervuaras stiklinis, tai su tokiu termometru galima matuoti arba tikrinti temperatūras ligi 500^0. Jeigu šitas rezervuaras iš platinos, tai tokiu vandenilio termometru galima matuoti temperatūras ligi 1000^0. Apie 1000^0 ir augščiau vandenilis smarkiai difunduoja per platiną, ir dar augštesnėms temperatūroms matuoti reikia imti azotas, kuris nedifunduoja per platiną. Azoto termometru galima matuoti temperatūras ligi 1500^0. Augščiau kaip ši temperatūra tokio termometro parodymai jau netikslūs, nes artinantis prie platinos tirpimo temperatūros (1800^0) azotas irgi ima difunduoti.

Visose mokslo įstaigose, kurios užsiima matavimo instrumentų, tame skaičiuje ir termometrų, patikrinimu, toks vandenilio arba azoto termometras su platinos rezervuaru yra būtinas aparatas, lygiai kaip ir gerai įtaisytose fizikos laboratorijose.

7 §. Kalorimetrija.

Šilimos judėjimas. Šilimos kiekis. Maišymo metodas. Šilimos talpumas. Santykis tarp kūno temperatūros pakilimo ir jo šilimos talpumo. Substancinė šilimos koncepcija. Lyginamoji šilima. Šilimos vienetas. Vandens kalorimetras.

Iš prityrimo mes žinome, kad esant dviems kūnams nevienodos temperatūros kontakte, tie kūnai įgyja vienodą temperatūrą, kuri paprastai būna žemesnė už karštesnio kūno temperatūrą ir augštesnė už šaltesnio kūno temperatūrą. Tokiais atvejais fizikoje sakoma, kad tarp kūnų nusistato temperatūros pusiausvyra. Toksai pusiausvyros stovis visuomet yra šilimos judėjimo išdava ir visuomet, kaip rodo prityrimas, viena prasme: nuo karštesnio kūno į šaltesnį kūną. Niekuomet šilima savaime nepereina nuo šaltesnio kūno į karštesnį kūną.

Šilima slenka savaime nuo augštesnės temperatūros kūno į zemesnes temperatūros kūną, taip kad pastarojo kūno šilimos kiekis ir kartu temperatūra auga, o pirmojo mažėja, ir toksai šilimos judėjimas tęsiasi, pakol temperatūra abiejų kūnų išsilygina. Analogija tarp šilimos judėjimo ir skysčių ir dujų judėjimo arba jųjų difuzijos, krinta čia į akis. Skysčiai ir dujos visuomet savaime slenka viena prasme, būtent, nuo vietų augštesnio spaudimo į vietas žemesnio spaudimo, ir toksai jų slinkimas tęsiasi, pakol spaudimai išsilygina, vadinasi, pakol bus pasiekta pusiausvyra. Išeinant iš šitos analogijos, jau senai į šilimą buvo žiūrima, kaipo į substanciją, nelyginant kaip į kokį skystį, kuris neturi svarumo. Vėliau mes pamatysime, kad tokia pažiūra į šilimą neatitinka tikrenybei, bet visgi šita pažiūra padėjo nustatyti šilimos apsimainymo tarp įvairių temperatūrų kūnų dėsnius. Žiūrint į šilimą kaipo į substanciją, savaime susidaro šilimos kiekio sąvoka, nelyginant kaip skysčio arba dujų kiekio, ir čia iš analogijos su skysčiais ir dujomis ilgą laiką buvo manoma, kad tas šilimos kiekis yra iš vienos pusės proporcingas kūno talpumui, o iš kitos pusės jo temperatūrai. Paskiau, remiantis pusiausvyros temperatūra, maišant dvi įvairias, nevienodos temperatūros, vandens mases, įsivyravo nuomonė, kad šilimos kiekis yra proporcingas kūno masei ir jo temperatūrai. Ypatingi nuopelnai šitoj srity yra garsaus Škotijos gydytojo Juozo Black'o, kuris gyveno ir veikė XVIII šimtmety ir, būdamas geras gydytojas, tuo pačiu laiku buvo Glazgow'o universiteto chemijos profesorius. Dėka jo tyrinėjimų ir eksperimentų šilimos srityje ir dėka jo interpretacijos kitų tyrinėtojų bandymų, daugiausia maišymo metodu, šiandien mes galime kiekybiniu atžvilgiu sekti įvairių įvairiausius šilimos judėjimus ir surištas su tais judėjimais fizinių kūnų stovio atmainas.

Iš prityrimo mes žinome, kad, paėmus dvi lygias vandens mases su temperatūromis, sakysime, 50^0 ir 60^0 ir greitai jas sumaišius, mišinio temperatūra bus aritmetinis vidurys abiejų paimtų temperatūrų, būtent: 55^0. Iš šito eksperimento aiškiai išeina, kad kiek nupuls temperatūra vienos masės, tiek pakils temperatūra kitos masės, ir iš čia daroma išvada, kad šilimos kiekis vienos masės atiduotas yra lygus šilimos kiekiui kitos masės įgytam. Jeigu mes paimsime dvi nevienodas vandens mases, pavyzdžiui, m_1 ir m_2, kurių temperatūros t_1 ir t_2, tai greitai sumaišius pusiausvyros arba galutina mišinio temperatūra gali būti išreikšta šiaip: $t = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2}$. Tai yra grynai empirinė formula, žinoma kaipo Richmano taisyklė (Richmanas, Petrapilio akademikas, gyvenęs XVIII šimtmety). Pavyzdžiui, paėmus 100 gr. vandens 10^0 temperatūra ir 50 gr. vandens 80^0 temperatūra, galutina mišinio temperatūra t^0 bus lygi $\frac{100 \cdot 10 + 50 \cdot 80}{100 + 50} = 33{,}3^0$. Vadinasi, didesnės vandens masės temperatūra pakils $23{,}3^0$, o mažesnės vandens masės temperatūra nupuls $46{,}7^0$. Kitaip kalbant, abiejų vandens masių temperatūrų pasikeitimai bus atvirkščiai proporcingi toms masėms: $\frac{100}{50} = \frac{46{,}7}{23{,}3}$. Šita išvada turi galios ir dviem nevienodom ir nevienodai temperuotom masėm bet kurio kito skysčio, pavyzdžiui, gyvojo sidabro, spirito, aliejaus ir t. t. Išeinant iš šito santykio galima teoretiškai prieiti prie augščiau paduotos empirinės formulos. Galutina vandens mišinio temperatūra t^0 bus žemesnė kaip vandens masės m_1 temperatūra t_1 ir augštesnė kaip vandens masės m_2 temperatūra t_2. Vadinasi, vandens masės m_1 temperatūra nupuls $t_1 - t^0$, o vandens masės m_2 temperatūra pakils $t - t_2$. Taigi $\frac{m_1}{m_2} = \frac{t - t_2}{t_1 - t}$, arba $m_1 (t_1 - t) = m_2 (t - t_2)$, iš kur išeina $t = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2}$. Paskutinė išvada rodo, kad paėmus dvi bet kurio skystimo mases įvairių temperatūrų ir sumaišius jas, sandauga iš masės ir temperatūros pasikeitimo yra pastovus dydis. Ir čia reiškiasi analogija su tuo dinamikos dydžiu, kuris vadinasi judėjimo kiekis, arba judėjimo momentas. Mes žinome iš mechanikos, kad susidūrus kūnams, jų judėjimo momentas pasilieka be atmainos. Išmetant patrankai šovinį, patrankos judėjimo momentas yra lygus šovinio judėjimo momentui, tik tų

judėjimų momentų ženklai nevienodi, taip kad jų algebrinė suma yra lygi 0, vadinasi, judėjimo momentas patrankos ir šovinio iššovus pasilieka toks pat, koks buvo prieš iššaunant. Iš analogijos su judėjimo momento tvarumu, kalbama apie šilimos kiekio tvarumą, arba pastovumą, kada kūnai mainosi šilima. Taigi ir šitas faktas tarytum remia pažiūrą, kad šilima yra substancinio charakterio.

Bet dalykas komplikuojasi, kada maišoma du įvairūs skysčiai, pavyzdžiui, vanduo ir gyvasai sidabras nevienodos temperatūros. Paėmus 100 gr. vandens 50^0 temperatūra ir 100 gr. gyvojo sidabro 20^0 temperatūra ir greitai sumaišius stiklo bonkoje, galutina temperatūra bus ne 35^0, bet $49{,}04^0$. Taigi šituo atveju augščiau paduota formula galutinai mišinio temperaturai apskaityti nebetinka. Atrodo taip, kad tokia pat gyvojo sidabro masė, kaip ir vandens masė, reikalinga yra daug mažiau šilimos tos masės temperatūrai pakelti tiek pat laipsnių kaip ir tokios pat vandens masės. Paskutiniame maišymo eksperimente, vandens masės temperatūra nupuolė $0{,}96^0$, o gyvojo sidabro temperatūra pakilo $29{,}04^0$. Vadinasi, gyvojo sidabro temperatūrai pakelti tam tikru laipsnių skaičiumi reikia šilimos 30 sykių mažiau negu tokios pat vandens masės ir tiekos pat laipsnių temperatūrai pakelti. Iš šito fakto Juozas Black'as daro išvadą apie nevienodą fizinių kūnų šilimos talpumą, taip kad, pavyzdžiui, gyvojo sidabro šilimos talpumas bus 30 sykių mažesnis kaip vandens šilimos talpumas. Black'as vadina kūno šilimos talpumu sandaugą iš masės ir tam tikro koeficiento c, kurį visuomet galima pavadinti masės vieneto šilimos talpumu. Šitas koeficientas dabar vadinasi lyginamąja kūno šilima. Kad galima būtų sulyginti įvairių kūnų šilimos talpumus, reikia kokį nors kūną paimti kaipo standartą, paskyrus jam sauvališkai tam tikrą talpumą. Ilgainiui pasirodė patogu imti vandenį kaipo standartą ir laikyti jo šilimos talpumą lygų jo masei, kitaip sakant, laikyti vandens masės vieneto šilimos talpumą, arba, kaip dabar sakoma, vandens lyginamąją šilimą vienetu. Konkrečiai kalbant sakoma, kad reikalingas vienetas šilimos vieno kilogramo vandens temperatūrai pakelti 1^0, ir šitas šilimos vienetas vadinamas kalorija, tiksliau — didžiąja kalorija, nes paėmus kaipo vandens masės vienetą 1 gr. reikės tai masei suteikti 1000 sykių mažiau šilimos negu 1 klgr. pakelti temperatūrai 1^0, vadinasi, reiks suteikti tūkstantąją didžiosios kalorijos dalį, kurią mes vadiname mažąja kalorija. Dažnai vartojami taip pat terminai kilogramkalorija ir gramkolorija. Čia tuojau pažymėsime, kad vandens šilimos talpumas ne visiškai vienodas esant įvairioms temperatūroms, pavyzdžiui, pakelti duotos masės vandens temperatūrai 1^0 nuo 0^0 reikia truputį daugiau šilimos, kaip tos pačios vandens masės temperatūrai pakelti nuo 50^0 iki 51^0. Taigi šiandien dažniausiai vartojama vadinamoji vidutinės kambario temperatūros kalorija, kuri reiškia šilimos kiekį, reikalingą 1 gr. vandens temperatūrai pakelti nuo 14,5 iki $15{,}5^0$. Šita kalorija labai mažai skiriasi nuo šilimos kiekio, reikalingo 1 gr. vandens temperatūrai pakelti nuo 0^0 iki 100^0, padalinus tą kiekį 100. Vadinamoji nulinė kalorija yra už tas dvi kiek didesnė. Išeinant iš šilimos kiekio tvarumo, savaime suprantama, kad kiek reikalinga kūnui suteikti šilimos jo temperatūrai pakelti, sakysime, 1^0, tiek pat reikalinga iš kūno atimti šilimos jo temperatūrai numušti 1^0.

Paimsime dabar dviejų įvairių skystimų mišinį ir, remdamies augščiau nurodytais dėsniais, apskaitysime vidutinę arba pusiausvyros temperatūrą. Tegu vienas iš tų skystimų bus vanduo; jo masė m_1 ir temperatūra t_1. Tegu antrojo skystimo masė bus m_2, jo temperatūra t_2 ir jo lyginamoji šilima c. Pažymėsime dar raide t pusiausvyros temperatūrą, kuri nusistato staiga sumaišius abu skystimu. Jeigu $t_2 > t > t_1$, tai vandens temperatūra pakils $t - t_1^0$, o antrojo skystimo temperatūra nupuls $t_2 - t^0$. Vadinasi, vanduo gaus $m_1 (t - t_1)$ mažųjų kalorijų, o antrasai skystimas nustos $m_2 c\ (t_2 - t)$ kalorijų, nes, puolant temperatūrai, 1^0 antrasai skystimas nustoja $m_2 . c$ kalorijų, kurį dydį mes vadiname, kaip jau augščiau pažymėta, to skystimo šilimos talpumu. Norint surasti, kiek kalorijų nustos antrasis skystimas nupuolus jo temperatūrai $t_2 - t^0$, reikia jo šilimos talpumas padauginti iš šito temperatūros pasikeitimo. Darydami eksperimentą taip, kad šilima negalėtų išeiti iš mišinio laukan arba atbulai — negalėtų įeiti į mišinį iš oro, arba, kitaip sakant, darydami eksperimentą adiabatiškai (nuo graikų žodžio „adiabatos", reiškia nepereinamas) ir eidami augščiau išdėstytais dėsniais, mes

turėsime $m_1 (t - t_1) = m_2 c (t_2 - t)$. Kairiojoje šitos lygties pusėje randasi vandens įgyta šilima, o dešiniojoje — antrojo skystimo atiduota šilima. Mes vėliau pamatysime, kad į šilimą tenka žiūrėti kaipo į ypatingą energijos formą, ir todel sekant šilimos kitėjimus reikia taikinti jiems energijos tvarumo dėsnius. Taigi ir šituo atžvilgiu vandens įgyta šilima turi būti lygi antrojo skystimo atiduotai šilimai, jeigu tik procesas vedamas adiabatiškai. Iš šitos lygties išeina $t = \frac{m_1 t_1 + m_2 c t_2}{m_1 + m_2 c}$ — reiškinys, visiškai panašus į tą, kurio pagalba apskaitoma vidutinė arba pusiausvyros temperatūra dviejų įvairių to paties skystimo masių mišinio. Visas skirtumas čia tik tas, kad antrajam skystimui vietoj masės m_2 imama sandauga iš masės ir lyginamosios šilimos $m_2 c$, vadinama šilimos talpumu. Taigi sekant šilimos kitėjimus reikia žinoti įvairių kūnų šilimos talpumus, o norint surasti šilimos talpumas, reikia surasti kūno lyginamoji šilima, arba tas šilimos kiekis, kuris reikalingas kūno 1 gr. temperatūrai pakelti 1°. Kadangi mes šitą šilimos kiekį vandeniui sauvališkai priimame lygų vienetui ir šitą vienetą vadiname kalorija, tad tas kiekis kitiems kūnams bus arba kalorijos trupmena, arba didesnis už vieną kaloriją. Todel mes tą kiekį ir vadiname lyginamąja kūno šilima. Tiktai vandenilis turi didesnę lyginamąją šilimą už vandenį, būtent: 3, 4 sykius didesnę. Visų gi kitų kūnų lyginamoji šilima yra mažesnė kaip vandens.

Lyginamajai kūnų šilimai nustatyti vartojami aparatai, kurie vadinasi kalorimetrai ir kurie remiasi įvairiais principais. Bet užvis dažniau vartojamas vadinamasis vandeninis kalorimetras, kuris remiasi augščiau aprašytu maišymo metodu. Svarbiausiąją vandeninio kalorimetro dalį sudaro metalinis indas — dažniausiai iš vario arba aluminijaus, kuris įdėtas į kitą žymiai didesnį indą, neliečiant to indo šonų ir dugno (žiūr. 23 pieš.). Kaip rodo piešinys, kalorimetras (vidurinis indas) pastatytas ant dviejų kamščio prizmų, kad neliestų išorinio indo dugno. Išorinės indo sienos dvilinkos, ir tarpas tarp to indo išorinių ir vidujinių šonų pripilamas vandens, norint kuo labiau sumažinti įsiveržimą šilimos į kalorimetrą iš oro darant eksperimentą, jeigu oro temperatūra būtų augštesnė, kaip kalorimetro temperatūra, arba išėjimą šilimos iš kalorimetro laukan, jeigu oro temperatūra būtų žemesnė kaip kalorimetro temperatūra. Dalykas tas, kad vanduo yra blogas šilimos laidininkas ir žymiai lėtina šilimos judėjimą. Be to, dar kalorimetras turi blogo laidininko dangtį — dažniausiai ebonito, kuris neparodytas piešiny. Tas dangtis irgi sulaiko išsiveržimą šilimos iš kalorimetro laukan arba įsiveržimą šilimos iš oro į kalorimetrą. Dangtis dažniausia susideda iš dviejų pusių, kad patogu būtų įmesti į vandenį pašildytą kūną, padarius tarpą tarp abiejų dangčio pusių. Pro tam tikras skyles per dangtį į kalorimetra įleidžiamas tikslus ir jautrus termometras, kurio gradai padalinti bent į 10 dalių, ir metalinis maišiklis. Kalorimetras pripilamas vandens iki pusės arba $^1/_3$ savo tūrio. Tas pats 23 piešinys augščiau kalorimetro rodo prietaisą kūnui, kurio lyginamoji šilima ieškoma, pašildyti iki tam tikros temperatūros. Tą prietaisą sudaro dvigubas metalinis cilindras, apklotas iš visų pusių blogu šilimos laidininku, būtent, vata. Viršutinis cilindro galas užkištas kamščiu, per kurį pereina termometras ir siūlas. Ant siūlo pririštas šildomas kūnas. Apatinis cilindro galas užkištas vatiniu kamščiu. Į tarpą tarp išorinio ir vidujinio cilindro šonų per vamzdį iš apačios leidžiami verdančio vandens garai, kurie išeina pro kitą vamzdį irgi cilindro apačioj. Vadinasi, šildomajam kūnui visuomet suteikiama temperatūra verdančio vandens garų, kurią pažymėsime raide T, nes toji temperatūra pareina nuo atmosferos spaudimo ir gali būti didesnė ar mažesnė, kaip 100°. Todel, norint žinoti, kokią temperatūrą įgyja šildomas kūnas, reikia vi-



Pieš. 23.

suomet žiūrėti barometro ir, žinant barometro parodymą, iš lentelių surasti atitinkamą tam parodymui vandens virimo temperatūrą.

Prieš darant eksperimentą bandomas kūnas reikia atsverti. Taip pat reikia atsverti kalorimetras be vandens ir su vandeniu ir maišiklis. Tegu kūnas sveria p gr., kalorimetras m gr., vanduo M gr. ir maišiklis m_1 gr. Eksperimentas prasideda tuo, kad prietaisas kūnui šildyti nustatomas kuo arčiau nuo kalorimetro, ir kurį laiką į jį leidžiami verdančio vandens garai. Del paprastumo priimsime iš pradžios, kad mes turime adiabatišką kalorimetrą, vadinasi, taip sutvarkytą, kad nei iš jo negali išeiti šilima laukan, nei į jį negali įsiveržti šilima iš oro. Kada šildymo prietaiso termometras rodys pastovią temperatūrą (arba, nesant termometrui, galima pasitenkinti leidžiant garų 20 minučių ar pusvalandį, tik šituo atveju reikia atskaityti barometras, norint žinoti garų temperatūra), tai pamaišius maišikliu kalorimetro vandenį, atskaitoma jo temperatūra t_1 ir, atidengus kalorimetrą kuo greičiau, iš šildymo cilindro kūnas paleidžiamas stačiai į kalorimetrą, atleidus truputį viršutinį cilindro kamštį ir greitai ištraukus apatinį vatos kamštį, taip kad kūnas su siūlu smuktų žemyn. Primsime, kad smunkant iš cilindro į kalorimetrą kūnas nė kiek neatvės ir kad siūlas sveria labai mažai, palyginti su kūnu, taip kad siūlo šilimos talpumas galima atmesti, apskaitant pusiausvyros temperatūrą. Įmetus kūną į kalorimetrą reikia sekti termometrą maišant vandenį kalorimetre. Termometras kils augštyn ir pagaliau pasieks augščiausiąją temperatūrą t, kuri šituo atveju ir bus pusiausvyros, arba galutina, mišinio temperatūra. Pažymėsime lyginamąją kūno šilimą raide c. Čia kūno temperatūra nupuls $T - t^0$, vadinasi, kūnas nustos šilimos, arba atiduos šilimą. Nupuolus temperatūrai 1^0 vienas gramas kūno atiduos c kalorijų, o p gr. kūno atiduos pc kalorijų. Nupuolus gi temperatūrai $T - t^0$, kūnas iš viso atiduos $pc\,(T - t)$ kalorijų. Kadangi mūsų kalorimetras adiabatiškas, tai visa ta šilima bus suteikta vandeniui, kalorimetro indui, maišikliui ir termometrui. Kadangi visi tie kūnai yra kontakte su vandeniu, tai jų pradžios temperatūra ir pusiausvyros temperatūra, įmetus kūną, bus tokios pat, kaip vandeniui, nes esant kūnams kontakte jie priima vienodą temperatūrą. Tiesa, vanduo blogas laidininkas, ir per vandenį temperatūros išsilyginimas eina lėtai. Bet užtat mes maišome vandenį, norėdami pagreitinti temperatūros išsilyginimą. Kalorimetro vandens temperatūra pakils $t - t_1$ laipsnių. Tegu kalorimetro indas ir maišiklis padirbti iš tos pačios medžiagos ir tegu tos medžiagos lyginamoji šilima bus c_1. Kadangi jų temperatūra irgi pakils $t - t_1$ laipsnių, tai kalorimetro indas ir maišiklis įgys $c_1\,(m + m_1)\,(t - t_1)$ kalorijų.

Norint surasti, kiek šilimos paims įmerkta į vandenį termometro dalis, reikia atskiru eksperimentu išmatuoti įmerktos dalies tūrį (tai lengva padaryti išspaudžiant termometru vandenį) v kub. cm., tada 0,46 v bus įmerktos termometro dalies šilimos talpumas. Dalykas tas, kad stiklas ir gyvasai sidabras turi tą patį šilimos talpumą, jeigu paimti stiklo ir gyvojo sidabro vienodus tūrius, sakysime, 1 kub. cm. 1 kub. cm. gyvojo sidabro sveria 13,6 gr., o jo lyginamoji šilima 0,033. Taigi 1 kub. cm. gyvojo sidabro šilimos talpumas bus $13{,}6 \times 0{,}033 = 0{,}45$. 1 kub. cm. stiklo sveria 2,5 gr., o jo lyginamoji šilima yra 0,19. Vadinasi, 1 kub. cm. stiklo šilimos talpumas bus 0,47. Taigi, žinant įmerktos į vandenį termometro dalies tūrį ir padauginus šitą tūrį iš aritmetinio vidurinio šitų abiejų skaičių, būtent, iš 0,46, mes turėsime termometro įmerktos dalies šilimos talpumą. Padauginus gi šitą talpumą iš temperatūros pakilimo gausime kalorijų skaičių, suteiktą termometrui. Pažymėsime termometro šilimos talpumą raide w, tad tas kalorijų skaičius bus $w\,(t - t_1)$. Kadangi kūno atiduota šilima turi būti lygi, vedant eksperimentą adiabatiškai, šilimai, kuri paimta vandens, kalorimetro indo, maišiklio ir termometro, tai mes turime $pc\,(T - t) = M\,(t - t_1) + (m + m_1)\,c_1\,(t - t_1) + w\,(t - t_1) = (t - t_1)\,[M + (m + m_1)\,c_1 + w]$.

Šitos lygties dešiniojoje dalyje didžiuosiuose skliaustuose mes turime vandens šilimos talpumą M, kuris yra lygus vandens masei M, nes vandens lyginamąją šilimą mes priėmėm per vienetą plus $(m + m_1)\,C_1$ kalorimetro indo ir maišiklio šilimos talpumą ir plus w — įmerktos termometro dalies šilimos talpumą. Paimsime konkretų pavyzdį. Tegu įmerktos termometro dalies tūris lygus 2 $cm.^3$. Tad tos termometro

dalies šilimos talpumas bus $2 \times 0{,}46 = 0{,}92$ kalorijų. Tegu kalorimetro indas sveria 100 gr. ir maišiklis 50 gr. ir tegu jie abu bus padirbti iš nikelio, kurio lyginamoji šilima yra lygi 0,1. Tad kalorimetro ir maišiklio šilimos talpumas bus $150 \times 0{,}1 = 15$ kalorijų. Vadinasi, kalorimetro indo, maišiklio ir termometro šilimos talpumas šituo atveju bus lygus 15,92 kalorijų. Kadangi vandens masė, lygi 15,92 gr., turi tokį pat šilimos talpumą, tai aišku, kad kalorimetro indo, maišiklio ir termometro bendrą šilimos talpumą apskaitymuose galima pakeisti tam tikra vandens mase, ir todel šitas dydis kalorimetrijoje vadinasi vandeninis kalorimetro ekvivalentas. Pažymėsime jį raide W. Iš to, kas pasakyta, aišku, kad W galima apskaityti, jeigu žinoma lyginamoji šilima medžiagos, iš kurios padirbti kalorimetro indas ir maišiklis, suradus atskiru bandymu įmerktos termometro dalies tūrį. Pažymėsime čia dar, kad įmerktos termometro dalies šilimos talpumas galima dar nustatyti šiuo bandymu. Paimsime stiklą su nedidele vandens mase m^1 temperatūra t^1, pašildysime termometrą tiek, kad jo temperatūra pakiltų iki T^0 (kokiais 20—30^0 augščiau kaip vandens temperatūra) ir įmerksime jį į vandenį tokio gilumo, kokio jis bus įmerktas į kalorimetrą. Maišydami vandenį įmerktu termometru nustatysime galutiną temperatūrą t^0. Pažymėsime termometro šilimos talpumą vėl raide w. Tad termometras, atvėsdamas nuo T^0 ligi t^0, atidavė $w(T-t)$ kalorijų, o vanduo, sušildamas nuo t^1 ligi t, įgijo $m^1(t-t^1)$ kalorijų. Taigi mes turime $w(T-t) = m^1(t-t^1)$, iš kur termometro šilimos talpumas $w = \frac{m^1(t-t^1)}{T-t}$.

Kada kalorimetro indo ir maišiklio lyginamoji šilima nežinoma, tada reikia atlikti atskiras eksperimentas vandeniniam kalorimetro ekvivalentui W surasti. Paimsime kokį nors kūną, kurio lyginamoji šilima mums žinoma. Tegu tas kūnas sveria q gr. ir tegu jo lyginamoji šilima bus c^1. Pašildysime jį augščiau nurodyto šildytuvo pagalba ligi temperatūros T ir įmesime į kalorimetrą, kuriame randasi vandens masė M gr. temperatūra t^0. Nustatysime galutiną temperatūrą vandens masės M, kalorimetro indo, maišiklio ir termometro. Tegu ta temperatūra bus t^1. Tad mes turime $qc^1(T-t^1) = (t^1-t)(M+W)$, iš kur $M+W = \frac{qc^1(T-t^1)}{t^1-t}$ ir vandeninis kalorimetro ekvivalentas $W = \frac{qc^1(T-t^1)}{t^1-t} - M$. Savaime suprantama, kad norint surasti W galima į kalorimetrą įpilti vandens masė q gr. temperatūra T^0 ir, greitai sumaišius, nustatyti galutiną temperatūrą t^1. Tada mes turėtume lygtį $q(T-t^1) = (t^1-t)(M+W)$, iš kurios ir surastume W. Tik tas metodas bus blogesnis, kaip vartojant kietą kūną, nes pilant į kalorimetrą vandenį srovės pavidalu, vanduo nustos daugiau šilimos, kaip kietas kūnas, metant jį į kalorimetrą ir, vadinasi, įpilto vandens temperatūra nebebus jau lygi šildytuvo temperatūrai T.

Grįšime dabar prie pagrindinės lygties bandomojo kūno lyginamajai šilimai surasti: $pc(T-t) = (t-t_1)[M + (m+m_1)c_1 + w]$. Kadangi $(m+m_1)c_1 + w = W$, tad mūsų lygtis priima prastesnį pavidalą, būtent: $pc(T-t) = (t-t_1)(M+W)$, iš čia išeina $c = \frac{(t-t_1)(M+W)}{(T-t)p}$.

Šitos lygties pagalba galėtume tiksliai surasti bandomojo kūno lyginamąją šilimą, jeigu mes galėtume realizuoti adiabatišką kalorimetrą, vadinasi, jeigu visa šilima bandomojo kūno atiduota, būtų suteikta tik kalorimetrui ir neišeitų laukan arba jeigu prie kūno atiduotos šilimos neprisidėtų šilima, įsiveržianti iš oro į kalorimetrą. Realizuoti tokias eksperimento sąlygas tikrumoje labai sunku ir dažniausiai tenka dirbti tokiomis aplinkybėmis, kada kalorimetro temperatūra yra augštesnė arba žemesnė, kaip išorinė aplinkos temperatūra. Esant kalorimetro temperatūrai augštesnei, kaip aplinkos temperatūra, kalorimetras atiduoda šilimą tai aplinkai, jo temperatūra krinta, vadinasi, jis vėsta, ir tuo atveju nustatyta galutina kalorimetro temperatūra t bus kiek

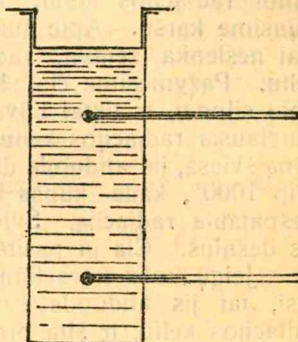
žemesnė, kaip reikia. Atbulai, kada aplinkos temperatūra yra augštesnė kaip kalorimetro temperatūra, šilima iš aplinkos veržiasi į kalorimetrą, kalorimetro temperatūra kįla augštyn ir, vadinasi, galutina jo temperatūra t bus kiek augštesnė, kaip reikia. Taigi tais atvejais nustatyta termometru galutina temperatūra reikalinga yra pataisų. Norint suprasti šitų pataisų apskaitymas, reikia susipažinti su kūnų aušimo, arba vėsimo, dėsniais.

8 §. Šilimos judėjimo būdai: laidumas, konvekcija ir radiacija (spinduliavimas). Kūnų aušimas. Newton'o dėsnis. Kalorimetrinio bandymo eiga galutinės temperatūros pataisai surasti.

Paimsime geležies stiebą ir izoliuosime jį taip, kad šilima iš jo negalėtų išeiti laukan ir įsiveržti į jį iš oro. Lemputės pagalba pašildysime vieną to stiebo galą tiek, kad to galo temperatūra pasidarytų augštesnė kaip kito galo temperatūra. Per kurį laiką, metalų labai greitai, temperatūra visame stiebe išsilygins. Įspūdis toks, kad, tarytum, šilima eina per geležį nuo to galo, kur temperatūra augštesnė, į tą galą, kur temperatūra žemesnė, ir toks šilimos ėjimas trunka patol, pakol temperatūra visame kūne išsilygins, atitinkamai nupuolus jai viename gale ir pakilus kitame gale, lygiai kaip ir sluogsniuose tarp abiejų galų. Šitas šilimos tekėjimas labai panašus į skysčių tekėjimą kanalais ir vamzdžiais, ir mes vėliau pamatysime, kad dėsniai, pagal kuriuos vyksta toks šilimos tekėjimas, yra panašūs į hidrokinetikos dėsnius. Tokį šilimos tekėjimą mes vadiname šilimos laidumu ir kalbame apie didesnį arba mažesnį kūnų laidumą šilimai. Kada šilimos temperatūra greitai išsilygina visame kūne, mes tokį kūną vadiname geru šilimos laidininku. Blogėliau leidžia šilimą akmuo, medis, stiklas, ir tokius kūnus mes vadiname vidutiniais, arba blogais šilimos laidininkais. Užvis blogiausi šilimos laidininkai yra skysčiai ir dujos, ir todel mes juos vadiname šilimos izolatoriais. Visiškai neperleidžia šilimos tuštuma, ir todel tuštuma yra absolutinis šilimos izolatorius. Šitą šilimos laidumą mes išnagrinėsime smulkiau viename iš tolimesnių šilimos skyrių, kaipo vieną iš būdų, kuriais šilima slenka iš vienos vietos į kitą vietą. Kada du įvairūs kūnai yra betarpiame kontakte ir turi nevienodą temperatūrą, tai šilima iš šiltesnio kūno pereina į šaltesnį, ir tų dviejų kūnų temperatūra išsilygina laidumo keliu.

Kaip pasklinda karštos krosnies šilima visame kambary? Tiesioginio kontakto tarp krosnies ir, sakysime, kambario sienų nėra. Tiesioginiame kontakte su krosnimi randasi tiktai kambario oras, kuris yra labai blogas šilimos laidininkas, taip kad laidumo būdu reikalinga būtų laukti labai ilgai, pakol kambarys nuo krosnies šiek tiek apšiltų. O mes žinome, kad kambarys, palyginti, greitai apšįla. Dalykas tas, kad tas oro sluogsnis, kuris randasi tiesioginiame kontakte su krosnimi, paima iš krosnies tam tikrą kiekį šilimos, darosi šiltesnis, ir todel lengvesnis, ir kįla augštyn. Šaltesnis oro sluogsnis užima jo vietą ir apšilęs kįla augštyn ir t. t. Taigi, esant kambary karštai krosniai, to kambario oras bus judėjimo stovyje: apšilę oro sluogsniai visą laiką kils augštyn, skleisdamiesi po visą kambarį, ir jų vietą visą laiką užims šaltesni oro sluogsniai, ir tokia oro cirkulacija tvers patol, pakol oro temperatūra visame kambary išsilygins ir pakol bus skirtumas temperatūros tarp krosnies ir oro. Šitas šilimos judėjimo, arba sklidimo, būdas vadinasi šilimos konvekcija, nuo lotynų žodžio convehere, kas lietuviškai reiškia nešti, vilkti. Dalykas toks, kad čia oro dalelės paima nuo šilto kūno, sakysime, nuo krosnies tam tikrą kiekį šilimos ir, taip sakant, nuvelka tą kiekį tolyn. Šilimos judėjimas, arba sklidimas, konvekcijos būdu yra charakteringas skysčiams ir dujoms, kurių dalelės, kaip jau mes žinome, charakterizuojamos dideliu judingumu (judrumu). Paimsime augštą cilindrą su dviem skylėm, vieną netoli nuo cilindro kranto, kitą cilindro apačioj, pro kurias kamščių pagalba įkišti į cilindrą dviejų termometrų galai (žiūr. 24 pieš.). Pripilsime šitą cilindrą iki krantų vandens ir uždengsime metaliniu dangčiu, taip kad dangtis būtų kontakte su vandens paviršium. Tegu vandens temperatūra bus 0°. Kaitinsime dabar lemputės

pagalba vandenį iš viršaus. Viršutinis termometras, palyginti, greitai parodys temperatūrą 100°, tuomet kai apatinis termometras rodys vis dar 0°. Šitas bandymas aiškiai rodo blogą vandens laidumą šilimai ir užvirinti, sakysime, vandenį kaitinant jį iš augšto reikėtų labai daug laiko. Bet kaitinant tą patį cilindrą iš apačios, vanduo, palyginti, greit užvirs, ir abudu termometrai rodys gangreit vienodą temperatūrą. Kaitinant iš apačios apatiniai vandens sluogsniai pasidarys šiltesni ir lengvesni ir kils augštyn, jų vietą užims sunkesni šaltesni sluogsniai iš viršaus, apšilę jie irgi kils augštyn ir t. t. Taigi mes turėsime vandens cirkulaciją kurią galima matyti akimis, jeigu šildyti vandenį iš apačios stiklo kolboje, įbėrus į tą kolbą smulkių pelenų: dalis pelenų, pagautų šiltesnių vandens sluogsnių, visą laiką kils augštyn, o kita pelenų dalis, pagauta šaltesnių vandens sluogsnių, visą laiką slinks žemyn. Ir be pelenų galima matyti akimis šita cirkulacija, atmetus proekcijos aparato pagalba ant ekrano bonkos su vandeniu vaizdą. Šiltų ir šaltų vandens sluogsnių šviesos lūžis ir šviesos absorpcija yra nevienodi, ir todel ekrane mes aiškiai matysime tamsesnes ir šviesesnes vandens sroves, vienas slenkančias žemyn, kitas — augštyn. Dažnai šildydami vandenį ar kurį kitą skystimą, mes maišome jį, kad jis greičiau užvirtų. Aišku, kad maišydami mes tik pagreitiname konvekcijos procesą. Paprastam gyvenime ir gamtoje dažniausiai tarp įvairios temperatūros kūnų randasi dujos, ir todel šilima dažniausiai sklinda tokiomis aplinkybėmis konvekcijos būdu.



Pieš. 24.

Aprašyti čia du būdu šilimos judėjimo, arba perėjimo šilimos iš vienos vietos į kitą, vyksta tik tarpininkaujant fiziniams kūnams arba aplamai materijai. Čia reikėtų dar paminėti garavimas, kurio pagalba šilima irgi pereina iš vienos vietos į kitą: garuojančio kūno dalelės atsiskiria nuo kūno ir nuneša, taip sakant, su savimi kūno šilimos dalį ir kaipo pasekmė garuojančio kūno temperatūra krenta žemyn.

Bet daugiausia šilimos žemė ir visa tai, kas yra ant žemės, gauna iš saulės, o tarp saulės ir žemės nėra materijos. Erdvės bedugnėje tarp atskirų žvaigždžių ir planetų randasi tuštuma. Kokiu gi būdu šilima sklinda per erdvės tuštumą? Taigi tuo pačiu būdu kaip ir šviesa, vadinasi, spinduliais arba bangomis. Fizika negali išaiškinti daugybės reiškinių, o ypač šviesos ir elektros apsireiškimų, prisilaikydama nusistatymo, kad erdvėje kūnai atskirti vienas nuo kito tuštuma. Taigi fizikoje nuo seniausių laikų tvirtai laikosi pasaulinio eterio hipoteza, anot kurios visa begalinė erdvė ir net visi mažiausi tarpai tarp fizinių kūnų molekulų ir atomų užimti ypatinga, visiškai nepanašia į paprastą mums materiją, medžiaga, būtent, eteriu. Tasai eteris yra vienintelis tarpininkas edvės kūnams, ir jo pagalba perduodama šviesa ir šilima nuo vienų erdvės kūnų kitiems. Taip pat manoma, kad ir visuotina trauka veikia tarp įvairių erdvės kūnų eteriui tarpininkaujant. Visi šviesos reiškiniai puikiausiai išaiškinami ir suprantami žiūrint į šviesą kaipo į eterio bangavimą, vadinasi, žiūrint į šviesos spindulius kaipo į eiles eterio bangų, kurias sudaro etere švytuojantieji karšto kūno atomai, kaip manoma buvo dar nesenai, arba judantieji savo orbitomis elektronai (neigiamos elektros atomai) — kaip manoma šiandien. Sudarytos tokiu būdu eterio bangos neša su savimi per erdvės bedugnes tam tikrą judėjimo momentą arba tam tikrą energijos kiekį ir, pasiekę kokį nors fizinį kūną, suteikia jam tą energijos kiekį, sudarydamos to kūno atomų ir molekulų judėjimą, arba, tiksliau kalbant, stiprindamos atomų ir molekulų judėjimą, kuris ir apsireiškia šilimos arba šviesos pavidalu. Taip tos eterio bangos, pasiekę mūsų akies retyną, sudaro šviesos įspūdį. Bet yra eterio bangos žymiai ilgesnės už šviesos bangas, kurios nesudaro šviesos įspūdžio, bet veikdamos mūsų kūno odos paviršių sudaro šilimos įspūdį. Taigi mes kalbame apie šilimos bangas ir apie šilimos spindulius, vadinamuosius tamsius spindulius, ir tokiais spinduliais šilima daugiausia skleidžiasi tuščioje erdvėje. Šitą būdą šilimos perėjimo iš vienos vietos į kitą, vadinasi, bangomis, spinduliais, mes vadiname radia-

cija (nuo žodžio radius, reiškia spindulys). Aplamai perėjimas bet kokios energijos iš vienos vietos į kitą arba nuo vieno kūno į kitą bangomis, spinduliais, vadinasi radiacija. Bet ir paprastose aplinkybėse apsimainymas šilima tarp įvairių kūnų vyksta, be laidumo, konvekcijos ir garavimo, ir radiacijos keliu. Atsisėdę prieš krosnį, kuriame kūrenasi ugnis, mes jaučiame didelį karštį pirmiausia dėka radiacijos, nes oro laidumas šilimai, kaip jau mes žinome, yra labai silpnas, o konvekcijos būdu šilima daugiausia kįla augštyn ir, be to, del priežasties mažo oro dalelių masingumo, konvekcijos būdu mūsų kūnui suteikiama maža šilimos. Taigi daugiausia šilimos krosnis suteikia mūsų kūnui radiacijos keliu. Paėmę karštą žersteklį ir laikydami ranką iš apačios, mes pajusime karštį. Apie šilimos konvekciją čia negali būti kalbos, nes šilti oro sluogsniai neslenka žemyn, vadinasi, mūsų ranka gauna šilimą nuo žersteklio radiacijos keliu. Pažymėsime čia, kad esant temperatūrai žemesnei kaip 100^0 radiacija veikia labai silpnai, ir tiktai būvant augštesnėms temperatūroms šilimos apsimainymas eina daugiausia radiacijos keliu. Esant temperatūrai apie 500^0, kada kūnas ima leisti raudoną šviesą, jis atiduoda daug šilimos radiacijos keliu, bet esant temperatūrai augštesnei kaip 1000^0, kada kūnas ima leisti baltą šviesą, tarp įvairių būdų šilimos atidavimo viešpatauja radiacija. Šviesos skyriuje mums teks smulkiau kalbėti apie radiaciją ir jos dėsnius. Čia gi pasitenkinsime tuo, kas augščiau pasakyta.

Jeigu koks nors kūnas turi augštesnę temperatūrą kaip aplinka, kurioje jis randasi, tai jis atiduoda savo šilimą tai aplinkai laidumo, konvekcijos, garavimo ir radiacijos keliu, ir šitą procesą mes vadiname kūno aušimu, arba vėsimu. Pavyzdžiui, žmogaus kūnas turi augštesnę temperatūrą kaip aplinka, kurioje žmogus gyvena (išėmus, žinoma, tropikus, kur atsitinka, kad aplinkos temperatūra yra augštesnė kaip žmogaus kūno temperatura). Tiesioginiais kalorimetriniais eksperimentais ir apskaitymais suvartoto žmogaus maisto kalorinių efektų nustatyta, kad vidutinio ūgio ir svorio žmogus atiduoda aplinkai iki 3 milionų kalorijų per 24 valandas. Iš to skaičiaus 3,5% žmogus atiduoda kvėpavimo keliu, išleidžiant sušildytą orą, 7,5% garavimo keliu iš plaučių, 14,5% garavimo keliu per odą, vadinasi, prakaitavimu, ir 73% konvekcijos keliu, įskaitant į šitą nuošimtį nedidelį kiekį šilimos, kurios žmogus nustoja radiacijos keliu. Aišku, kad šita šilima privalo būti grąžinta žmogaus kūnui, kuriam reikalui žmogus pirmiausia ir vartoja maistą, nes kitaip žmogaus temperatūra imtų kristi žemiau normalinės temperatūros. Taigi į maistą reikia žiūrėti kaipo į kurą, kuris degdamas, taip sakant, įvairiuose žmogaus organuose kompensuoja šilimos nuostolius.

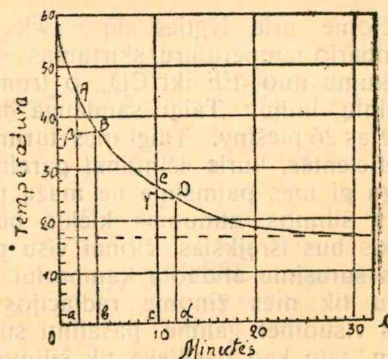
Del kūnų aušimo dar Newton'as eksperimento keliu nustatė labai paprastą dėsnį, kuris skamba taip: „kūnui vėstant, jo temperatūros puolimos yra proporcingas to kūno ir aplinkos temperatūrų skirtumui“. Be to, tas temperatūros puolimas kūnui vėstant pareina dar nuo kūno medžiagos ir nuo jo paviršiaus didumo ir rūšies. Pažymėsime kūno temperatūrą raide t_k, aplinkos temperatūrą raide t_a, mažą temperatūros puolimą ženklu dt ir trumpą laiką, per kurį tas puolimas įvyksta — ženklų dz. Tad Newton'o aušimo dėsnis matematiškai išreiškiamas taip: $\frac{dt}{dz} = k\,(t_k - t_b)$. Proporcingumo veiksnis k pareina nuo kūno medžiagos ir jo paviršiaus. Pažymėsime dar vandeninį kūno ekvivalentą raide w, o atiduotą per trumpą laiką dz šilimos kiekį ženklu dq. Tad $dq = w.\ dt = wk.\ dz\ (t_k - t_a)$, priimant domėn augščiau paduotą Newton'o dėsnio lygtį. Sandauga w. k vadinasi kalorimetrijoje radiacijos konstanta, arba šilimos emisijos koeficientas, ir žymima raide r. Šita konstanta turi didelės reikšmės šilimos nuostoliams apskaityti darant kalorimetrinius bandymus tais atvejais, kada kalorimetro temperatūra yra augštesnė kaip aplinkos temperatūra (arba apskaitant šilimos pelną, kada kalorimetro temperatūra yra žemesnė kaip aplinkos temperatūra).

Norint patikrinti šitą Newton'o dėsnį ir, vadinasi, geriau suprasti jo reikšmę, galima padaryti toks eksperimentas. Paimti stiklinė kolba 300 cm.^{3} tūrio, pripilti ją iki kaklo vandens, sakysime, 60^0 temperatūra ir užkimšti ją kamščiu, per kurį į kolbą įleisti precizijos termometras ir maišiklis. Taip priruošta kolbą galima pastatyti ant

briaunų dviejų kryžmais sudėtų kamščio prizmų, norint izoluoti ją, ir maišant joje vandenį sekti jos temperatūros puolimą, atskaitant temperatūrą, sakysime, kas minutė. Tuo pačiu laiku reikia sekti aplinkos temperatūrą, atskaitant ją, sakysime, kas dvi minutės. Dalykui suprastinti priimsime, kad aplinkos temperatūra visą laiką nesimainė ir buvo lygi 17°. Bandymo rezultatus mes galime išreikšti grafiškai, atidėdami laiką minutėmis ant abscisos 0X, o temperatūrą ant ordinatų, ir jungiant ordinatų galus linijomis. Mes tada gausime vaizdą, kurį atvaizduoja 25 piešinys.

Paimsime ant aušimo kreivosios taškus A ir B ir išvesime iš jų du statmens Aa ir Bb į abscisą X. Šitie statmens reiškia temperatūras, atitinkančias aušimo kreivosios taškams A ir B, būtent, 44,5° C. ir 38° C. Tegu dar šitiems taškams A ir B atitinka laiko dviejų minučių skirtumas (abscisų A ir B skirtumas) ir pagaliau tegu gulsčioji linija, parodyta punktiru, reiškia nesimainančią kambario temperatūrą 17° C. Iš taško B pravesime liniją B ß, lygiagrečią abscisai. Tad A ß bus temperatūros puolimas per dvi minutes lygus $44{,}5 - 38 = 6{,}5°$. Vidutinė vėstančio kūno temperatūra per tą laikotarpį bus $\frac{44{,}5 + 38}{2} = 41{,}2°$ C. Skirtumas tarp šitos vidutinės temperatūros ir kambario temperatūros bus $41{,}2 - 17 = 24{,}2°$ C. Taigi pritaikydami Newton'o dėsnio lygtį, mes turėsime $\frac{6{,}5}{2} = k.\ 24{,}2$ arba aušimo konstanta $k = \frac{6.5}{2.\ 24{,}2} = 0{,}134$.

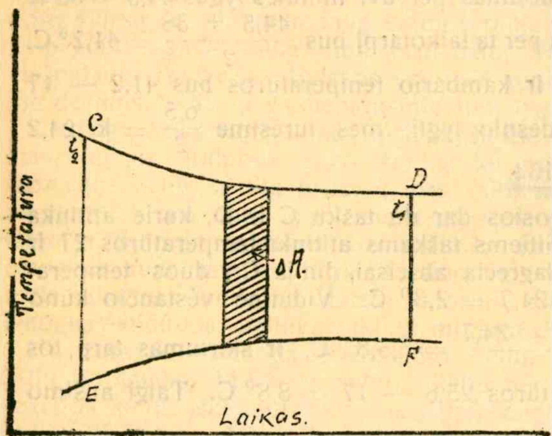
Paimsime ant tos pačios aušimo kreivosios dar du tašku C ir D, kurie atitinka tam pačiam laiko skirtumui—2 minutėms. Šitiems taškams atitinka temperatūros 27 ir 24,7° C. Išvedus iš taško D liniją D γ, lygiagrečią abscisai, linija C γ duos temperatūros puolimą per dvi minutes, lygų $27 - 24{,}7 = 2{,}3°$ C. Vidutinė vėstančio kūno temperatūra per tas dvi minutes buvo $\frac{27 + 24{,}7}{2} = 25{,}8°$ C, ir skirtumas tarp tos vidutinės temperatūros ir kambario temperatūros $25{,}8 - 17 = 8{,}8°$ C. Taigi aušimo konstanta $k = \frac{2{,}3}{2.\ 8{,}8} = 0{,}130$. Gauname skaičių, tiesa, mažesnį, bet visgi tokį, kurs mažai skiriasi nuo skaičiaus vėsimui esant augštesnei temperatūrai. Jeigu mes ant tos pačios vėsimo kreivosios paimtumėm du tašku dar žemesnėmis temperatūromis, gautumėm skaičių, kuris būtų šiek tiek mažesnis kaip 0,13, bet visgi skirtųsi tiek mažai nuo 0,13, jog mes galėtumėm faktiškai žiūrėti į apskaitomą tokiu būdu dydį kaipo į konstantą. Reikia čia pasakyti, kad Newton'o dėsnis veikia tiksliai esant labai mažiems skirtumams tarp vėstančio kūno ir aplinkos temperatūrų. Esant žymiems vėstančio kūno ir aplinkos temperatūrų skirtumams, konstanta k didesnė, būvant augštesnėms temperatūroms, ir mažesnė, būvant mažesnėms temperatūroms. Vadinasi, juo augštesnė kūno temperatūra, juo greičiau jis vėsta, kuri išvada tiesiog išeina iš eksperimento. Bet jeigu skirtumas tarp kūno temperatūros ir aplinkos temperatūros nėra didesnis kaip 15—20° C., tai praktiškai mes galime naudotis Newton'o dėsniu kaipo tiksliai veikiančiu dėsniu.



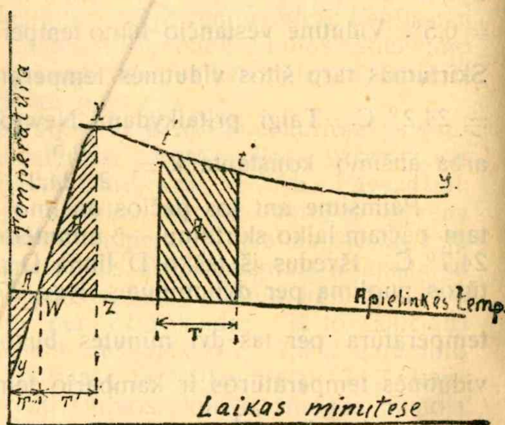
Pieš. 25.

Eisime dabar prie apskaitymo pataisų galutinai kalorimetro temperatūrai remiantis Newton'o dėsniu. Šilimai, kurią kalorimetras gauna iš aplinkos, arba kurią jis atiduoda aplinkai, apskaityti vartojami trys metodai. Apskaičius šitą šilimą mes galime surasti pataisą galutinai kalorimetro temperatūrai su ženklu + tuo atveju, kada kalorimetro temperatūra yra augštesnė kaip aplinkos temperatūra, ir su ženklu —, kada kalori-

metro temperatūra yra žemesnė kaip aplinkos temperatūra. Mes pirmiausia aprašysime čia Regnault'o metodą, kuriuo nustatomas kalorijų skaičius, kalorimetro įgytas arba atiduotas bandymo metu. Mes čia paimsime tą atsitikimą, kada kūno temperatūra, vadinasi, kalorimetro temperatūra yra augštesnė kaip aplinkos temperatūra. Išreikšime grafiškai bandymu nustatytą kalorimetro ataušimą. Išvedę koordinatų linijas, mes vėl ant abscisos atidėsime laiką minutėmis, arba dar geriau, pusminutėmis, o statmenimis, išvestais lygiagrečiai ordinatų linijai, mes išreikšime temperatūras, atitinkančias kiekvienai minutei arba pusminutei. Tuo pačiu laiku seksime aplinkos temperatūros kitėjimą, atskaitydami kambario temperatūrą kas minutę ar net ir dvi minuti. Išreikšdami grafiškai mūsų stebėjimo rezultatus, mes gausime dvi kreivas linijas: CD, kuri atvaizduoja kalorimetro atvėsimą, ir EF, kuri atvaizduoja kambario temperatūros kitėjimą (žiūr. 26 pieš.). Augščiau, remdamies Newton'o dėsniu, mes



Pieš. 26.



Pieš. 27.

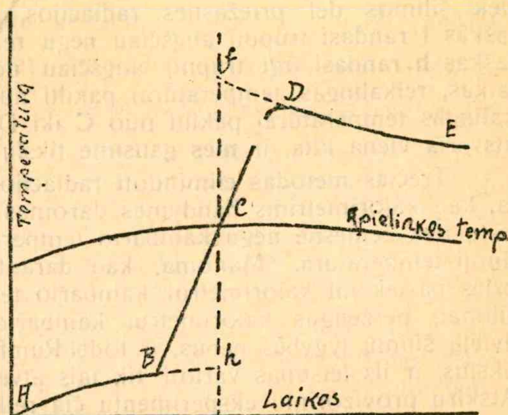
priėjome prie lygties $dq = wk \cdot dz\ (t_k - t_a) = r \cdot dz\ (t_k - t_a)$. Kalorimetro ir kambario temperatūrų skirtumas $(t_k - t_a)$ kiekvienu momentu išreiškiamas čia statiniu atokumu nuo EF iki CD, o trumpas laikas dz yra gulsčias atokumas tarp dviejų statinių linijų. Taigi sandauga $dz\ (t_k - t_a)$ yra ne kas kita, kaip plotas dA, apibrėžtas 26 piešiny. Taigi mes turime $dq = rk'\ dA$. Čia k' yra tam tikras proporcingumo koeficientas, kuris išimtinai pareina nuo masto, kokio daromas grafiškasai vaizdas. Jeigu gi mes paimsime ne mažą puolimo temperatūrą dt, o jos puolimą nuo t_2 iki t_1, tai ir šilimos atiduotas kiekis bus ne dq, bet $q = rk'$ ACF, vadinasi, tas šilimos kiekis bus išreikštas čionai visu plotu CDEF. Tuo ar kitu būdu apskaitę šitą plotą, mes surasime atiduotą kambariui kalorijų skaičių, atvėsus kalorimetrui nuo t_2 iki t_1, jeigu tik mes žinome radiacijos konstantą r. Atlikdami kalorimetrinius bandymus mes visuomet galime pašalinti šilimos išėjimą iš kalorimetro laidumo ir konvekcijos keliu, taip kad pasilieka tik šilimos atidavimas radiacijos keliu.

Tegu, įmetus į kalorimetrą karštą kūną, kalorimetro temperatūros kilimas bus atvaizduotas linija YWX (pieš. 27). Įmetus karštą kūną į kalorimetrą, kalorimetras per kiekvieną sekundą įgyja tam tikrą skaičių kalorijų ir atiduoda kambariui radiacijos keliu mažesnį skaičių kalorijų, taip kad iš pradžios kalorimetro šilimos turinys auga ir jo temperatūra kyla augštyn. Maximum temperatūra bus pasiekta tada, kada įgyta kalorimetro šilima darosi lygi atiduotai šilimai, arba, kitaip sakant, kada kalorimetras nebegauna greičiau šilimos, negu atiduoda šilimą kambariui. Pasiekus šitą maximum temperatūrą, kalorimetras vėsta ir jo temperatūra puola. Tegu kreivoji linija XY atvaizduoja šitą temperatūros puolimą, o linija A''WZT atvaizduoja kambario temperatūros eigą kalorimetrinio bandymo metu. Įmetus karštą kūną į kalorimetrą, kalorimetras iš pradžios yra žemesnės temperatūros kaip kambario temperatūra, vadinasi,

is iš pradžios radiacijos keliu gauna šilimą iš kambario. Paskui kalorimetro temperatūra darosi augštesnė kaip kambario temperatūra, ir jis radiacijos keliu atiduoda šilimą kambariui. Taigi aišku, kad radiacijos pataisa čia bus skirtumas tarp šilimos, kurią kalorimetras atidavė kambariui būdamas augštesnės temperatūros, ir šilimos, kurią jis gavo iš kambario būdamas žemesnės temperatūros kaip kambarys. Iš 27 piešinio aišku, kad gauta iš kambario šilima išreiškiama apibrėžtu plotu A", o atiduota kambariui šilima išreikšta apibrėžtu plotu A'. Taigi kalorimetro šilimos nuostolis radiacijos keliu $q = rk'\ (A' - A'')$. Kaip jau anksčiau pasakyta, k' yra proporcingumo veiksnis tarp dydžių, išreiškiamu abscisomis ir ordinatomis, ir pareina tik nuo to, kokiu mastu mes tęsiame ordinatas ir abscisas. Pasilieka tik surasti radiacijos konstanta r, norint apskaityti kalorimetro šilimos nuostolį. Tos radiacijos konstantai surasti ir reikalinga kalorimetro atvėsimo kreivoji XY, pasiekus jam maximum temperatūrą. Paimsime dalį kreivosios, kuri apima temperatūros puolimą nuo t' iki t". Atitinkąs tam temperatūros puolimui šilimos nuostolis bus $q' = rk'\ A$. Iš kitos pusės pažymėjus vandeninį kalorimetro ekvivalentą raide w ir jo vandens masę m, tas pats šilimos nuostolis $q' = (w + m)\ (t' - t'')$. Iš čia mes turime $r = \frac{(m + w)(t' - t'')}{k'\ A.}$.

Taigi kalorimetro šilimos nuostolis, iki pasiekiant maximum temperatūrą, $q = rk'\ (A' - A'') = (m + w)\ (t' - t'') \cdot \frac{A' - A''}{A}$. Apskaitant įgytą kalorimetro šilimą iki pasiekta maximum temperatūra, reikia šitą šilimą q pridėti, arba, kitaip sakant, padidinti atitinkamai vadinamąją galutiną kalorimetro maximum temperatūrą. Taigi darant kalorimetrinį eksperimentą Regnault'o metodu, įmetus į kalorimetrą karštą kūną, reikia sekti, sakysime, kas pusė minutės kalorimetro temperatūrą uoliai maišant maišikliu, pakol kalorimetras pasieks maximum temperatūrą.

Kalorimetrui pasiekus maximum temperatūrą reikia dar sekti kurį laiką kalorimetro atvėsimą registruojant jo temperatūrą, sakysime, kas minutę ir uoliai maišant. Remiantis šitais daviniais galima nupiešti temperatūros eigos kreivąją nuo karšto kūno įmetimo momento ir, naudojantis šita kreivąja, surasti reikalingą pataisą.



Pieš 28.

Užuot suradus šilimos kiekį, kurio nustoja kalorimetras radiacijos keliu, galima laikytis Rowland'o metodo, būtent, surasti maximum temperatūrą, kurią būtų pasiekęs kalorimetras, jeigu šilimos atidavimas radiacijos keliu būtų buvęs eliminuotas. Š tas uždavinys gali būti išspręstas paprastos grafiškos konstrukcijos būdu. Tegu kalorimetrui, kuris iš pradžios yra žemesnės temperatūros kaip kambario temperatūra, suteikiamas toks šilimos kiekis Q, kad jo temperatūra pakįla augščiau kaip kambario temperatūra. Pakol kalorimetro temperatūra žemesnė kaip kambario temperatūra, jis absorbuoja šilimą, o kada jo temperatūra darosi augštesnė kaip kambario temperatūra, jis atiduoda šilimą. Stebėsime kurį laiką, kaip mainosi kalorimetro temperatūra prieš įmetant į jį karštą kūną, ir, atidėdami ant abscisos laiką, ant ordinatų temperatūras, nupiešime kreivąją liniją AB (28 pieš.), kuri atvaizduos mums kalorimetro temperatūros augimą prieš įmetant kūną. Įmetus karštą kūną taip pat žiūrėsime temperatūros kilimą, tik jau per trumpesnius laikotarpius, pakol bus pasiekta maximum temperatūra. Atvaizduojant grafiškai temperatūros kilimą nuo karšto kūno įmetimo iki maximum temperatūros, gausime kreivąją liniją BD. Pagaliau stebėsime kurį laiką kalorimetro temperatūros puolimą pasiekus jam maximum temperatūrą. Atvaizduodami šitą dalį

eksperimento grafiškai, gausime kreivą liniją ED. Linija BD rodo, kaip mainosi kalorimetro temperatūra, kada jam suteikiama šilima Q. Nuo B iki C kalorimetras, be to, gauna dar šilimą iš kambario, o nuo C iki D jis atiduoda šilimą kambariui. Per tašką C reikia pratęsti statinę (vertikalinę) liniją. Pratęsime dabar liniją ED atgal iki susikertant su einančia per C statine linija taške f. Taip pat pratęskime liniją AB iki susikertant su statine linija taške h. Linija hf duos tikrą temperatūros pakilimą per laikotarpį nuo to laiko, kada karštas kūnas įmestas iki pasiekta maximum temperatūra. Iš tikrųjų, jeigu kalorimetrui nebūtų buvęs suteiktas tam tikras šilimos kiekis įmetus karštą kūną, tai kalorimetro temperatūra būtų kilusi augštyn kreivąja linija AB ir būtų pasiekusi tašką h tuo pačiu momentu, kada faktiškai pasiektas taškas C. Vadinasi, kai kalorimetro temperatūra faktiškai pakilo nuo B iki C, temperatūros pakilimas nuo B iki h parėjo nuo šilimos, kurią suteikė kalorimetrui kambarys, o pakilimas temperatūros nuo h iki C parėjo nuo dalies šilimos, suteiktos kalorimetrui karšto kūno. Antra vertus, jeigu į kalorimetrą nebūtų buvęs įmestas karštas kūnas, bet jis iš pat pradžios būtų turėjęs tokią temperatūrą, kad vėsdamas būtų pasiekęs temperatūrą D tuo pačiu laiku, kada jis iš tikrųjų pasiekė tokią temperatūrą, ir jeigu toliau jo temperatūros puolimas būtų ėjęs kreivąja linija ED, tai aišku, kad kalorimetras būtų buvęs f temperatūros tuo momentu, kada jis iš tikrųjų buvo C temperatūros. Taigi, kai kalorimetro temperatūra faktiškai pakilo nuo C iki D, puolimas temperatūros del priežasties radiacijos būvo nuo f iki D, taip kad faktiškai pakilimas temperatūros per šitą laiką būtų buvęs nuo C iki f, jeigu nebūtų buvę nuostolių del priežasties radiacijos. Taigi ir išeina, kad kalorimetro temperatūra, įmetus į jį karštą kūną, būtų iš tikrųjų pakilusi nuo h iki f, jeigu nebūtų buvę nei šilimos nuostolių, nei šilimos pelno del priežasties radiacijos.

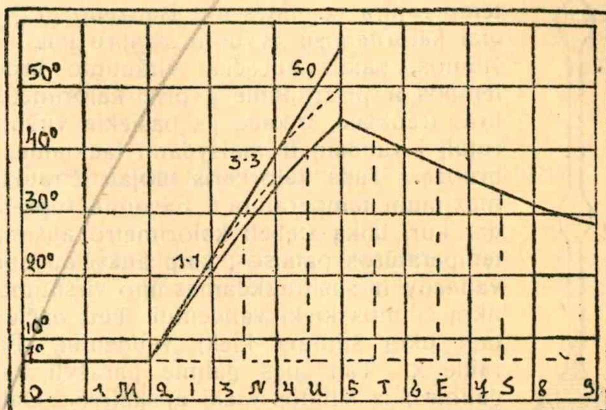
Kai kalorimetro temperatūra kilo nuo C iki D, jis faktiškai buvo žemesnės temperatūros, kaip būtų buvęs vėstant jam nuo f iki D. Vadinasi, faktiškai jis nenustojo tiek šilimos del priežasties radiacijos, kaip anksčiau priimta. Taigi temperatūros taškas f randasi truputį augščiau negu reikia. Del tos pat priežasties temperatūros taškas h randasi irgi truputį augščiau negu reikia. Darant eksperimentą taip, kad laikas, reikalingas temperatūrai pakilti nuo B iki C, būtų toks pat kaip ir laikas, reikalingas temperatūrai pakilti nuo C iki D, tai augščiau nurodyti dvi klaidi gangreit atsveria viena kitą, ir mes gausime tikslų rezultatą.

Trečias metodas eliminuoti radiacijos įtakai pasiūlytas Rumfordo, ir jo esmė yra ta, kad kalorimetrinis bandymas daromas taip, kad kalorimetro pradžios temperatūra būtų tiek žemesnė negu kambario temperatūra, kiek augštesnė bus kalorimetro galutinoji temperatūra. Manoma, kad darant bandymą taip įgyta radiacijos būdu šilima prieš pasiekiant kalorimetrui kambario temperatūrą yra lygi atiduotai radiacijos būdu šilimai, peržengus kalorimetrui kambario temperatūrą. Lengva suvokti, kad čia tų dviejų šilimų lygybės nebus, ir todel Rumfordo metodas, tiesa, užvis prasčiausias, nėra tikslus, ir jis leistinas vartoti tik tais atvejais, kada nereikalaujama didelio tikslumo. Atskiru provizoriniu eksperimentu čia reikia iš anksto nustatyti, koksai bus temperatūros pakilimas aplamai, įmetus karštą kūną. Nustačius tai, galima tada daryti eksperimentą taip, kaip anksčiau pasakyta.

Nurodysime čia dar vieną praktišką taisyklę galutinajai kalorimetro temperatūrai tiksliai, greitai ir paprastu būdu nustatyti: pridėti prie kalorimetro pasiektos maximum temperatūros tą temperatūros puolimą, kuris įvyko per pusę laiko, kuris buvo kalorimetrui reikalingas maximum temperatūrai pasiekti, skaitant nuo to momento, kai karštas kūnas įmestas. Pritaikant Newton'o aušimo dėsnį, nesunku pamatuoti šitą taisyklę.

Tikslesnius rezultatus galima gauti elgiantis taip: nuo to momento, kai karštas kūnas įmestas, registruojamos temperatūros, sakysime, kas minutė (dar geriau kas pusė minutės), taip pat registruojamos kurį laiką temperatūros kalorimetrui vėstant, pasiekus maximum temperatūrą. Išreiškiant šituos davinius jau žinomu mums būdu grafiškai (atidedant laiką ant abscisos, o atitinkančias temperatūras ant ordinatų ir jungiant ordinatų galus linija), mes gausime kreivąją liniją, kurią atvaizduoja 29 piešinys. Čia

paimtas toks atsitikimas, kai kambario temperatūra yra lygi 7^0. Tai, vadinasi, ir bus pradžios temperatūra. Viena dalis kreivosios (kairioji) atvaizduoja šilimos absorpcijos procesą, kita dalis kreivosios (dešinioji) — šilimos atidavimą radiacijos būdu. Faktiškai kalorimetro pasiekta maximum temperatūra čia bus 44^0. Reikia apskaityti, kokia būtų buvusi ta maximum temperatūra, jeigu šilimos absorpcijos fazėje (kairioji kreivosios dalis) nebūtų buvusi atiduodama šilima kambariui radiacijos būdu del tos priežasties, kad kalorimetro temperatūra darėsi vis augštesnė ir augštesnė kaip kambario temperatūra. Šitam uždaviniui išspręsti ir reikalinga dešinioji kreivosios dalis (aušimo kreivoji). Aušimo fazėje temperatūros puolimas per 4 minutes yra lygus 16^0, vadinasi, per 1 minutę — 4^0, esant vidutinei temperatūrai 33^0 (imant aritmetinį vidurinį visų temperatūrų, kurias rodė kalorimetras vėstant kas minutė). Kadangi kambario temperatūra yra lygi 7^0, tai kalorimetro vidutinės temperatūros perteklius bus 26^0 ir, vadinasi, temperatūros puolimas kas minutė pertekliui 1^0 bus lygus $\frac{4}{26} = 0{,}154$ (Newton'o aušimo dėsnio suprastinta konstanta). Karštas kūnas, įmestas į kalorimetrą 7^0 temperatūra. Per vieną minutę kalorimetro temperatūra pakįla iki 21^0. Vadinasi, jo vidutinė temperatūra buvo $\frac{21+7}{2} = 14^0$. Taigi radiacijos pataisa pirmajai minutei bus $(14-7)\,0{,}154 = 1^0{,}1$. Per antrą minutę kalorimetro temperatūra pakilo nuo 21^0 iki 35^0. Vadinasi, vidutinė temperatūra per tą minutę buvo 28^0, ir radiacijos pataisa tai antrajai minutei bus $(28-7)\,0{,}154 - 3^0{,}3$. Per trečią minutę temperatūra pakilo nuo 35^0 iki 45^0. Vadinasi, vidutinė temperatūra buvo 40^0, ir radiacijos pataisa bus $(40-7)\,0{,}154 = 5^0$. Taigi visa pataisa bus $1{,}1 + 3{,}3 + 5 = 9{,}4$, ir todel tikra kalorimetro maximum temperatūra išeina čia $44 + 9{,}4 = 53{,}4$.



Pieš 29.

Pridedant šitas pataisas prie atitinkamų temperatūrų ir, vadinasi, atitinkamai pratęsiant ordinatas ir jungiant jų galus su pradžios temperatūra, mes gausime kreivą liniją, kuri eina stačiau kaip mūsų absorpcijos linija ir kuri perkerta maximum temperatūros ordinatą taške, kuris ir atitinka temperatūrai $53{,}4^0$.

9 §. Skysčių lyginamosios šilimos nustatymas.

Paprasčiausias būdas bet kurio skysčio lyginamajai šilimai nustatyti tai, įpylus šitą skystį į kalorimetrą, įmesti į jį kokį nors karštą kūną, kurio lyginamoji šilima mums žinoma. Pažymėsime kalorimetro maišiklio ir termometro vandeninį ekvivalentą raide w, skysčio masę raide m, jo lyginamąją šilimą raide c, kalorimetro pradžios temperatūrą raide t_0 ir jo galutinę vienu iš augščiau nurodytų būdų pataisytą temperatūrą raide t. Be to, dar pažymėsime karšto kūno masę raide m_1 ir jo temperatūrą raide T. Tad mes turime $m_1 (T-t) = (mc + w)(t-t_0)$, iš kur jau apskaitysime c.

Kitas metodas, panašus į augščiau nurodytą, yra kaloriferio vartojimas, kurį atvaizduoja 30 piešinys. Kaloriferis tai yra iš storo stiklo vamzdis, išpūstas didesnio

rutulio pavidalu viename gale, ir tas rutulys pripiltas gyvojo sidabro. Viršuje ir gangreit per vidurį tas stiklo vamzdis išpūstas dar pavidalu dviejų mažesnių rutuliukų. Be to dar, ant vamzdžio randasi du bruožu: vienas truputį žemiau viršutinio rutuliuko, o kitas — vidurinio rutuliuko. Eksperimentas daromas taip. Reikia paimti kalorimetras su maišikliu ir termometru ir pripilti jis iki pusei vandens. Tegu vandeninis kalorimetro ekvivalentas bus w, vandens masė m ir pradžios temperatūra t_0. Mes ant Bunzeno ar kitos kokios lempos kaitiname atsargiai kaloriferį su gyvuoju sidabru pakol gyvasai sidabras, skėsdamasis nuo šilimos, pakils augščiau viršutinio bruožo. Atimame tada kaloriferį nuo lempos ir priartiname jį prie kalorimetro. Kaloriferis vėsta, gyvasai sidabras traukiasi, ir kada jis pasiekia viršutinį bruožą, mes įkišame kaloriferio rutulį į vandenį ir maišydami laukiame, kol gyvasai sidabras pasieks apatinį bruožą. Tada kaloriferis tuojau ištraukiamas iš vandens ir registruojama maximum temperatūra t. Savaime suprantama, kad išėmus kaloriferį galima dar kurį laiką stebėti kalorimetro aušimą, norint turėti davinius galutinės temperatūros pataisos, kaip anksčiau aprašyta. Gyvasai sidabras, vėsdamas vandeny ir susitraukdamas nuo viršutinio iki apatinio bruožo, atiduoda tam tikrą šilimos kiekį vandeniui. Tuo pačiu laiku ir kaloriferio stiklas atiduoda tam tikrą šilimos kiekį vandeniui. Pažymėsime šitą visą šilimos kiekį raide x. Tad mes galime parašyti, kad $x = (m + w)(t - t_0)$. Vadinasi, galime šitą šilimos kiekį apskaityti. Dabar mes išpilame vandenį iš kalorimetro, gerai išvalome jį švariu ir sausu rankšluosčiu ir įpilame kokio nors kito skysčio, kurio masė tegu bus lygi m_1 ir lyginamoji šilima c. Kaitiname vėl ant lempos kaloriferį pakol jo gyvasai sidabras pakils augščiau viršutinio bruožo. Atėmę nuo lempos, mes kišame kaloriferį į skystį tuo momentu, kada vėsdamas ir traukdamasis gyvasai sidabras pasieks viršutinį bruožą, ir maišydami laikome jį skystyje, pakol gyvasai sidabras susitrauks iki apatinio bruožo. Tada išimame kaloriferį iš skysčio ir registruojame galutiną kaloriferio temperatūrą t^1. Savaime suprantama, kad kišant kaloriferį į skystį irgi reikia užregistruoti pradžios temperatūra. Tegu ji bus t'_0. Mūsų kaloriferis, susitraukiant gyvajam sidabrui nuo viršutinio iki apatiniam bruožui, atiduos ir skysčiui tą patį šilimos kiekį, kurį jis atidavė, darant pirmąjį bandymą, vandeniui, vadinasi, x kalorijų. Taigi mes turėsime šią lygtį: $x = (m_1 c + w)(t^1 - t'_0)$. Iš čia $c = \frac{1}{m_1}\left(\frac{x}{t^1 - t'_0} - w\right)$. O x mums žinomas ir lygus: $(m + w)(t - t_0)$.



Pieš. 30.

Aprašysime čia dar vieną metodą skysčių lyginamajai šilimai surasti, kuris remiasi Newton'o aušimo dėsniu. Paimsime kalorimetrą su maišikliu ir termometru, kurių vandeninis ekvivalentas tegu bus w. Įpilsime į šitą kalorimetrą vandens masę m ir įdėsime jį į didesnį indą su dvigubais šonais, užimdami tarpą tarp šonų vandens ir ledo mišiniu, taip kad būtų nuolatinė išorinė temperatūra 0^0. Stebėsime kalorimetro temperatūros puolimą ir pažymėsime laiką z_1 sekundomis, per kurį kalorimetro temperatūra nupuls nuo t_1 iki t_2^0. Einant Newton'o dėsniu tos temperatūros puolimas ir, vadinasi, atiduota kalorimetro šilimą bus proporcinga aušimo laikui. Taigi mes turėsime lygtį $(m + w)(t_1 - t_2) = k z_1$. Čionai k reiškia proporcingumo veiksnį tarp atiduotos kalorimetro šilimos ir ataušimo laiko.

Atlikę šitą eksperimentą, išpilsime iš kalorimetro vandenį, ištrinsime jį rankšluosčiu ir pripilsime bandomojo skysčio, paėmę tokią to skysčio masę m_1, kad ji užimtų kalorimetre tokį pat tūrį, kaip augščiau vandens užimtas tūris. Tad mes turėsime tą patį ataušimo paviršių kaip ir eksperimente su vandeniu ir, vadinasi, tą pačią radiacijos konstantą. Įdėję vėl kalorimetrą į išorinį indą su nuolatine temperatūra, atkartosime eksperimentą taip, kaip su vandeniu, nustatydami laiką z_2, per kurį kalorimetro temperatūra nupuls nuo t'_1 iki t'_2. Savaime suprantama, kad atliekant abudu tuos eksperimentus, reikia visą laiką maišyti maišikliu ir vandenį ir bandomąjį skystimą, norint kiekvienu momentu turėti tą pačią temperatūrą per visą vandens arba skysčio masę ir kalorimetro. Ir čia temperatūros puolimas ir, vadinasi, atiduota kalorimetro

šilima bus proporcinga ataušimo laikui. Taigi mes turime $(m_1 s + w)(t'_1 - t'_2) = kz_2$. s reiškia čia bandomojo skysčio lyginamąją šilimą. Padalinę šitą paskutinę lygtį pirmąja mes turėsime: $\frac{(m_1 s + w)(t'_1 - t'_2)}{(m + w)(t_1 - t_2)} = \frac{z_2}{z_1}$. Šita lygtis duoda galimumo apskaityti s iš eksperimento davinių. Ji žymiai gali būti suprastinta, jeigu sekti ataušimą ir vandens ir skysčio tose pačiose temperatūros ribose, sakysime, nuo t_1 iki t_2, ir jeigu vandeninis kalorimetro ekvivalentas w bus mažas dydis, lyginant su šilimos talpumu paimtų skysčio ir vandens masių. Tad mes turėsime $\frac{m_1 s}{m} = \frac{z_2}{z_1}$, iš kur $s = \frac{m}{m_1} \cdot \frac{z_2}{z_1}$

10 §. Kietų ir skystų kūnų lyginamosios šilimos pavyzdžiai. Dulong'o ir Petit'o dėsnis.

Duosime čionai lyginamąją šilimą visos eilės chemijos elementų, lygiai kaip tų elementų atominius svorius ir jų atominio svorio ir lyginamosios šilimos sandaugą (atominė šilima arba atomų šilimos talpumas).

Elementas	Atom. svoris	Lygin. šilima	Atom. šilima
Aluminijus	27,04	0,2022	5,45
Antimonijus	119,60	0,0507	6,05
Arsenikas	74,9	0,0814	6,10
Barijus	136,86	0,047	6,42
Bismutas	207,5	0,02998	6,17
Boras	10,9	0,252	2,33
Anglis	11,97	0,238	2,85
Kobaltas	58,55	0,103	6,03
Varis	63,18	0,0923	5,82
Auksas	195,74	0,0304	5,94
Švinas	206,39	0,0315	6,5
Platina	194,3	0,0315	6,1
Geležis	55,88	0,1098	6,13
Nikelis	58,24	0,1084	6,31
Litijus	7,01	0,9408	6,61
Kalijus	39,03	0,165	6,45
Manganas	54,8	0,122	6,68
Gyvasai sidabras	199,8	0,0319	6,36
Sidabras	107,66	0,0559	6,10
Silicijus	28	0,1596	4,39
Siera	31,98	0,1844	6,02
Fosforas (geltonas)	30,96	0,202	6,31
Bromas (kietas)	79,76	0,0843	6,7
Cinkas	64,88	0,0935	6,05
Uranas	239,8	0,028	6,71.

Šita lentelė aiškiai rodo, kad atominė šilimą, arba atominis šilimos talpumas, kietų elementų svyruoja tarp 5,45 ir 6,70, ir jeigu paimti aritmetinis vidurys visos eilės duotų čia skaičių, tai vidutiniškai ta atominė šilima bus lygi 6,4. Taigi dar 1819 metais Dulong'as ir Petit'as, remdamies savo ir kitų tyrinėtojų eksperimentais, padarė išvadą, kad elementų atominė šilima yra pastovus dydis ir lygus 6,4, arba, kitaip sakant, elementų lyginamoji šilima yra atvirkščiai proporcinga jų atomų svoriams. Šita išvada žinoma fizikoje, kaip Dulong'o ir Petit'o dėsnis. Jau iš lentelės aišku, kad tas dėsnis nėra tikslus. Ypač trys elementai, būtent: boras, anglis ir silicijus griežtai apsilenkia su šituo dėsniu esant paprastai temperatūrai. Bet Züricho fizikas H. Weber'is, kuris nustatė paminėtų čia trijų elementų lyginamąją šilimą, būvant augštoms temperatūroms, konstatavo, kad atominė šilima šitų trijų elementų artinasi

prie Dulong'o ir Petit'o konstantos juo labiau, juo augštesnė bus temperatūra, esant kuriai matuojama jų lyginamoji šilima, ir apsilenkia su ta konstanta juo labiau, juo žemesnė temperatūra, esant kuriai nustatoma lyginamoji šilima. Duosime čia ištrauką, liečiančią anglies elemento alotropines modifikacijas, būtent: grafitą ir diementą, iš Weber'io davinių ir iš prof. Dewar'o davinių, kuris bandė šitų ir kitų elementų lyginamąsias šilimas esant žemoms temperatūroms.

Grafitas			Diementas.		
Temperatūra.	Lygin. šilima.	Atom. šilima.	Temperatūra.	Lygin. šilima.	Atom. šilima.
— 50⁰	0,1138	1,37	— 50⁰	0,0635	0,76
+ 10⁰	0,1604	1,93	+ 10⁰	0,1128	1,35
61⁰	0,199	2,39	85⁰	0,1765	2,12
202⁰	0,2966	3,56	206⁰	0,2733	3,28
642⁰	0,4454	5,35	607⁰	0,4408	5,3
822⁰	0,4539	5,45	806⁰	0,4489	5,4
978⁰	0,467	5,5	985⁰	0,4589	5,5

Taigi šita lentelė aiškiai rodo, kad augant temperatūrai lyginamoji šilima grafito ir diemento žymiai auga, o puolant temperatūrai lyginamoji šilima žymiai mažėja ir net atrodo, kad diemento lyginamoji šilima darosi gangreit lygi 0 artinantis prie absolutinio temperatūros nulio. Panašiai elgiasi ir paprasta anglis — trečioji anglies elemento alotropinė modifikacija. Tas pats reikia pasakyti ir apie elementus borą ir siliciją, kuriems mes irgi turime davinių iš prof. Weber'io ir Dewar'o darbų. Šitą išvadą galima apibendrinti ir chemijos junginiams, kurių lyginamoji šilima ar tai kietame, ar tai skystame stovyje yra augštesnė esant augštesnėms temperatūroms ir žemesnė esant žemesnėms temperatūroms. Taip pat aplamai to paties junginio lyginamoji šilima skystame stovyje visuomet yra augštesnė kaip kietame stovyje. Pavyzdžiai: ledo lyginamoji šilima 0⁰ temperatūra lygi 0,504, o skysto vandens esant tai pačiai temperatūrai — 1,0054; kietojo gyvojo sidabro lyginamoji šilima 0,0319, o skystame stovyje — 0,033. Bet būna ir išimčių. Pavyzdžiui, vandens lyginamoji šilima kįlant temperatūrai iš pradžios mažėja, o paskui vėl ima augti, kaip rodo ši lentelė:

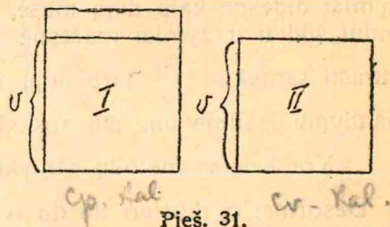
Lyginamoji šilima	
0⁰	1,0054
10⁰	1,0022
20⁰	1,0000
30⁰	0,9987
40⁰	0,9982
50⁰	0,9987
60⁰	1,0000

Išeidami iš to žinomo fakto, kad būvant augštesnėms temperatūroms sudėtingos molekulos skaldosi ir virsta prastesnės sudėties molekulomis, kurį procesą mes vadiname disociacija, ir turėdami galvoj profesoriaus Weber'io tyrinėjimus, liečiančius borą, anglies elementą ir siliciją, mes prieisime prie išvados, kad, esant paprastoms ir žemoms temperatūroms, šitų elemetų molekulos labai komplikuotos (sudarytos iš labai didelio atomų skaičiaus), kurią išvadą pagrindžia ir visos tų elementų chemijos ypatybės. O esant augštesnėms temperatūroms tų elementų molekulos darosi prastesnės ir artinasi savo struktūra prie daugumos elementų molekulų struktūros, kuri yra ir esant paprastoms ir augštesnėms temperatūroms žymiai prastesnė, taip kad daugumos elementų lyginamoji šilima žymiai mažiau pareina nuo temperatūros. Taigi išeina, kad juo prastesnė molekulinė struktūra, juo didesnis bus molekulos šilimos talpumas ir atbulai, taip kad iš mažėjančio šilimos talpumo būvant žemesnėms temperatūroms leistina daryti išvada, kad temperatūrai puolant darosi vis didesni ir didesni molekulų kompleksai. Pastarųjų laikų lyginamosios šilimos bandymai, esant labai žemoms temperatūroms arti nuo absolutinio nulio, atlikti Dewar'o, Nernsto ir kitų, aiškiai rodo, kad bent elementų lyginamoji šilima, esant absolutiniam temperatūros nuliui, turi pasidaryti lygi nuliui.

Pažymėsime čia dar, kad labai dažnai chemijos junginio arba molekulos šilimos talpumas yra lygus sumai atomų šilimos sudarančių molekulą. Šitas faktas žinomas fizikoje ir chemijoje kaipo Koppo arba Woestyn'o taisyklė. Apskaitysime laikydamies šitos taisyklės etilalkoholio $C_2 H_6 O$ lyginamąją šilimą. Norint pakelti dviejų anglies elemento atomų temperatūrą 1^0, reikia $2 \times 5{,}47 = 10{,}94$ šilimos vienetų. 6 vandenilio atomams reikia $6 \times 3{,}409 = 20{,}454$ šilimos vienetų. Pagaliau vienam deguonio atomui reikia 3,47 šilimos vienetų. Taigi vienos alkoholio molekulos temperatūrai pakelti 1^0 reikia iš viso 34,864 kalorijų. Kadangi alkoholio molekulos svoris yra lygus 45,9, tai alkoholio lyginamoji šilima turi būti lygi $\frac{34{,}864}{45{,}9} = 0{,}76$. Tiesioginiai kalorimetriniai bandymai kai del lyginamosios alkoholio šilimos, esant paprastai temperatūrai, duoda skaičių 0,7, kuris mažai skiriasi nuo teoretiško skaičiaus. Bet reikia turėti galvoj, kad labai dažnai chemijos junginių tarpe Koppo taisyklė nepatvirtinama.

11 §. Dujų lyginamoji šilima. Clement'o ir Desormes'o eksperimentas santykiui $\frac{c_p}{c_v}$ tarp lyginamosios šilimos, esant nuolatiniam spaudimui c_p ir nuolatiniam turiui c_v, nustatyti. Dujų kalorimetras lyginamajai šilimai, esant nuolatiniam spaudimui, surasti. Molekulinė dujų šilima. Dujų konstantos R reikšmė. Santykis $\frac{c_p}{c_v}$ vienatominėms, dviatominėms, triatominėms ir t. t. molekuloms.

Įsivaizduokime sau bet kurių dujų masės vienetą, kuris, esant temperatūrai t^0, užima tūrį v (31 pieš). Suteiksime toms dujoms tokį šilimos kiekį, kad dujų temperatūra pakiltų 1^0, vadinasi, pasidarytų lygi $t + 1^0$. Šildant dujas, jų tūris kaip ir kitų kūnų keičiasi, tik žymiai smarkiau, jeigu dujos nepatalpintos tokiame inde, kurio tūris nesimaino, pavyzdžiui, kada dujos randasi cilindre su stumekliu. Šildant dujas tokiam cilindre, jos savo spaudimu varys augštyn stumeklį pakol išsilygins dujų spaudimas ir išorinis atmosferos spaudimas. Tegu reikia suteikti, šildant dujas nurodytomis sąlygomis, vadinasi, esant nuolatiniam spaudimui, c_p kalorijų, norint pakelti masės vieneto temperatūrą 1^0. Bet galima ir taip šildyti dujos, kad jų tūris nekistų. Tegu masės vieneto temperatūrai pakelti 1^0 tokiomis sąlygomis, vadinasi, esant nuolatiniam tūriui, reikia suteikti c_v kalorijų. Prityrimas rodo, kad šitie du šilimos kiekiai nevienodi, būtent, $c_p > c_v$. Taigi kalbant apie dujų lyginamąją šilimą tenka skaitytis bent su dviem lyginamojom šilimom, būtent, su lyginamąja šilima esant nuolatiniam tūriui c_v ir nuolatiniam spaudimui c_p. Iš prityrimo mes žinome, kad šildant dujas, esant nuolatiniam spaudimui, jų tūris didėja. Taip pat iš prityrimo mes žinome, kad jeigu dujų tūris staiga adiabatiškai didėja, tai jų temperatūra puola. Vadinasi, norint padidėjusio dujų tūrio temperatūrą padaryti pirmykščio dydžio, reikia dujoms suteikti tam tikrą šilimos kiekį. Taigi šildant dujų masės vienetą esant nuolatiniam tūriui reikia suteikti c_v kalorijų, norint pakelti temperatūrą 1^0. Tokiomis sąlygomis, kaip mes žinome, padidės dujų spaudimas. Taigi, norint grįžti prie pirmykščio spaudimo reikia dabar duoti galimumo dujoms išsiplėsti. Bet dujoms plečiantis krinta temperatūra. Taigi, norint atstatyti temperatūrą $t + 1^0$, reikia suteikti dar papildomąjį kiekį šilimos q. Iš to, kas čia pasakyta, aišku, kad $c_p - c_v = q$, arba $c_p = c_v + q$.



Pieš. 31.

Kada dujos šildomos taip, kad jos gali skėstis, tai skėsdamos jos veikia prieš atmosferos spaudimą, vadinasi, atlieka darbą (pavyzdžiui, keldamos augštyn cilindro

31 piešinio stumeklį be svorio, kurį veikia atmosfera. Taigi keldamas augštyn tam tikrą kilogramų skaičių, kuris yra lygus atmosferos spaudimui į stumeklio plotą). Kada dujos šildomos taip, kad jos skėstis negali, vadinasi, esant nuolatiniam tūriui, tai jos neatlieka jokio darbo prieš atmosferą. Todel savaime ateina mintis, kad skirtumas tarp lyginamosios dujų šilimos, esant nuolatiniam spaudimui ir nuolatiniam tūriui, reikia priskirti sąskaiton atlikto prieš atmosferą darbo. Mes vėliau pamatysime, kad faktiškai šildant dujas, esant nuolatiniam spaudimui, dalis šilimos eikvojama temperatūrai pakelti, o kita dalis darbui prieš atmosferą atlikti. Mes vėliau arčiau pasipažinsime su mechanine šilimos teorija ir su mechaniniu šilimos ekvivalentu (apie tai jau iš dalies buvo kalbama mechanikos skyriuje, straipsnyje „Darbas ir energija"). Pažymėsime šitą mechaninį šilimos ekvivalentą raide J (kilogramometrų skaičius, kurį galima gauti iš vienos didžiosios kalorijos). Taigi remdamies tuo, kas anksčiau pasakyta, mes dujų atliktą prieš atmosferą darbą galime išreikšti kaipo $(c_p - c_v)$ J. Antra vertus, tas darbas yra dujų tūrio padidėjimo išdava šildant jas, o mes jau iš hidrodinamikos ir aerodinamikos žinome, kad toks darbas gali būti išreikštas nuolatinio spaudimo p ir tūrio padidėjimo sandauga $v_2 - v_1$ (v_1 — pradžios tūris, v_2 — galutinis tūris). Taigi eidami energijos pastovumo dėsniu mes turime lygtį $(c_p - c_v) J = p (v_2 - v_1)$.

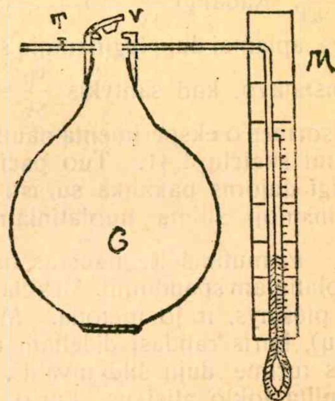
Kadangi ir skysti ir kieti kūnai keičia savo tūrį šildant juos, tai tiksliai kalbant reikėtų ir kietiems ir skystiems kūnams priskirti bent dvi lyginamąsias šilimas esant nuolatiniam spaudimui ir nuolatiniam tūriui. Bet mes žinome, kad kietų ir skystų kūnų tūrio padidėjimas augant temperatūrai yra žymiai mažesnis, kaip dujų. Todel skirtumas tarp dviejų lyginamųjų šilimų kietų ir skystų kūnų yra toks mažas, jog ne tik praktikoje, bet ir mokslo srityje mes šitą skirtumą ignoruojame ir kalbame tik apie vieną kietiems ir skystiems kūnams lyginamąją šilimą.

Nesunku surasti dujų lyginamoji šilima esant nuolatiniam spaudimui c_p, modifikavus šiek tiek kalorimetrinį eksperimentą, anksčiau smulkiai aprašytą, apie ką bus kalba tam pačiam straipsnyje žemiau. Bet labai sunku nustatyti dujų lyginamoji šilima esant nuolatiniam tūriui c_v, nes indo masė, kuriame patalpintos dujos visuomet bus žymiai didesnė kaip dujų masė, ir todel didžioji dalis suteiktos šilimos bus išeikvota indui šildyti ir žymiai mažesnė dalis dujoms šildyti. Bet labai paprastu būdu galima surasti santykis $\frac{c_p}{c_v}$ tarp dujų abiejų lyginamųjų šilimų. O suradus c_p kalorimetriniu bandymu, galima bus jau apskaityti c_v.

Yra keletas metodų santykiui $\frac{c_p}{c_v}$ nustatyti. Mes aprašysime čia metodą Clement'o ir Desormes'o, kuriuo tie du tyrinėtojai pirmutiniai surado šitą santykį. Norėdami išaiškinti Clement'o ir Desormes'o metodą, grįšime prie 31 piešinio, kuris atvaizduoja du indu to paties tūrio v, kuriuose tilpsta bet kurių dujų masės vienetas t temperatūros ir p spaudimo. Kad prastesnį turėtume uždavinį, priimsime, kad indai šilimos neima, o tik perduoda ją dujoms. Suteiksime dabar I indui tokį šilimos kiekį, kad dujų temperatūra pakiltų 1^0 tuo pačiu spaudimu p. Taigi dujų tūris padidės einant Gay-Lussac'o dėsniu. Tūris v einant šituo dėsniu bus lygus $v_0 (1 + \alpha t)$. O tūris, esant temperatūrai $t + 1^0 v_{t+1} = v_0 [1 + \alpha (t + 1)]$. Taigi tūrio padidėjimas $v_{t+1} - v = v_0 \alpha$. Bet iš $v = v_0 (1 + \alpha t)$ išeina $v_0 = \frac{v}{1 + \alpha t}$. Taigi tūrio padidėjimas bus lygus $\frac{v\alpha}{1 + \alpha t}$. Suteikta čia šilima bus lyginamoji šilima esant nuolatiniam spaudimui c_p. O šildydami dujų masės vienetą inde II ir tuo ar kitu būdu neduodami joms skėstis, mes suteiksime mažesnį šilimos kiekį c_v kad pakeltume temperatūrą 1^0. Tai bus lyginamoji šilima esant nuolatiniam tūriui. Suspausime dabar staiga adiabatiškai dujas inde I taip, kad galėtume grįžti prie pirmykščio tūrio v. Tad jų temperatūra pakils truputį augštyn, sakysime, padidės τ^0 (τ čia mažas dydis, trupmena). Bet dabar mes turėsime dujas ir vienam ir kitam inde tam pačiam tūryje v. Bet vienam inde II temperatūra bus pakilus 1^0, o kitam $1 + \tau^0$. Taigi vienu atsitikimu mūsu bus suteikta c_v kalorijų,

o kitu atsitikimu $c_v(1+\tau)$. Taigi iš visa tai, kas anksčiau pasakyta, išeina, kad $c_v(1+\tau)$ ir bus ta šilima, kurią reikia suteikti dujų masės vienetui, norint pakelti jų temperatūrą 1^0, duodant dujoms galimumo skėstis, kada jos šildomos. Vadinasi, $c_p = c_v(1+\tau)$, iš kur išeina $\frac{c_p}{c_v} = 1+\tau$. Taigi, norint surasti santykį tarp dujų abiejų lyginamųjų šilimų reikia eksperimento keliu surasti nedidelis temperatūros pakilimas τ, suspaudžiant staiga adiabatiškai dujas $\frac{\alpha}{1+\alpha t}$ jų paimto tūrio (augščiau jau parodyta, kad pakilus temperatūrai 1^0 esant nuolatiniam spaudimui tūrio padidėjimas bus $\frac{v\alpha}{1+\alpha t}$). Taigi, spaudžiant mums reikia tūris sumažinti tiek pat, todel dujų suspaudimas arba kompresija bus $\frac{v\alpha}{(1+\alpha t)v} = \frac{\alpha}{1+\alpha t}$. Bet nėra jokio reikalo, darant eksperimentą, būtinai padaryti kompresiją $\frac{\alpha}{1+\alpha t}$, kuriai atitinka temperatūros pakilimas τ. Mes galime padaryti bet kurią kitą kompresiją ß, kuriai atitinka kitas temperatūros pakilimas ϑ. Jeigu ta kompresija ß irgi nedidelė, tai veikia proporcija: $ß : \frac{\alpha}{1+\alpha t} = \vartheta : \tau$, iš šios proporcijos lengva apskaityti τ.

32 piešinys atvaizduoja Clement'o ir Desormes'o aparatą, kuriuo tie du tyrinėtojai gavo reikalingus davinius apskaityti τ. Tą aparatą sudaro didelio talpumo stiklo bonka C, kuri gali būti uždaryta aklinai (germetiškai) vožtuvu V. Su bonka, kaip rodo piešinys, sujungtas gyvojo sidabro manometras (arba net ir aliejaus manometras) M. Be to, su bonkos kaklu sujungtas stiklo vamzdis su kranu T, kurio pagalba galima bonką sujungti su oro siurbliu. Pagaliau į bonką įpiltas ant dugno sluogsnis stiprios sieros rūgšties, kad oras bonkoje būtų visuomet sausas. Bandymas daromas taip. Uždengus bonką germetiškai vožtuvu V, bonka sujungiama vamzdžio T pagalba su oro siurbliu ir, atidarius kraną T, iš bonkos išsiurbiama dalis oro. Padarius tai, kranas uždaromas. Dabar oro spaudimas bonkoje bus mažesnis negu atmosferos spaudimas, ir gyvasai sidabras stovės augščiau kairiojoje manometro šakoje negu dešiniojoje, sakysime, h mm. Pažymėsime bonkos tūrį raide v esant bandymo temperatūrai t (kambario temperatūra). Tegu barometras rodo spaudimą B. Tad mes bonkoje turėsime oro tūrį v esant spaudimui B — h. Atidarysime dabar daugiausia dviem sekundom vožtuvą V. Oras iš kambario staiga įsiverš į bonką suspausdamas jau esantį ten orą, pakol spaudimas bonkoje pasidarys lygus atmosferos spaudimui. Taigi gyvasai sidabras abiejose manometro šakose stovės to paties augščio, bet oro temperatūra bonkoje pakils. Buvęs prieš atidarant vožtuvą bonkoje oras bus suspaustas, vadinasi, jo tūris bus mažesnis. Pažymėsime šitą tūrį raide v'. Spaudimas to oro bus B, nes įsiveržiantis iš kambario oras suspaus jį iki išorinio spaudimo. Kadangi dabar oras bonkoje turi augštesnę temperatūrą kaip kambario temperatūra, tai šilima eis iš bonkos laukan, pakol oro temperatūra bonkoje susilygins su kambario temperatūra. Bet vėstant orui bonkoje, jo spaudimas mažės, ir gyvasai sidabras kairiojoje manometro šakoje vėl kils augštyn ir pagaliau nusistos augščiau kaip dešiniojoje šakoje h^1 mm., taip kad $h^1 < h$. Taigi susilyginus temperatūrai, oro tūrio v' spaudimas bus $B - h^1$.



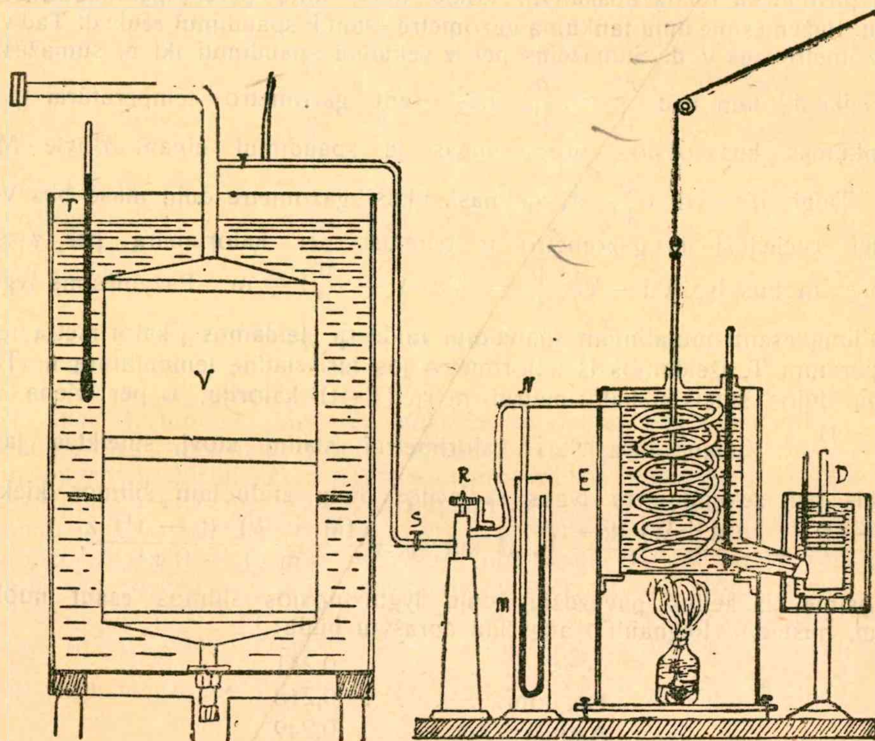
Pieš. 32.

Remiantis aprašyto čia eksperimento daviniais galima apskaityti adiabatiškas dujų suspaudimas (kompresija) ir atitinkamas tam suspaudimui temperatūros pakilimas ϑ. Išsiurbę iš bonkos dalį oro ir nusistačius temperatūrai t, mes turėjome tūrį v esant spaudimui B — h. Atidarius kraną ir vėl uždarius, buvęs bonkoje oras susi-

spaudė iki v^1. Nusistačius vėl temperatūrai t to oro spaudimas buvo $B - h^1$. Taigi, eidami Boyle-Mariott'o dėsniu, mes turime $\frac{v^1}{v} = \frac{B-h}{B-h^1}$, iš kur išeina $\frac{v-v^1}{v} = \frac{h-h^1}{B-h^1}$. Tai ir bus oro relatyvus suspaudimas, vadinasi, $\frac{h-h'}{B-h^1} = ß$. Norėdami surasti atitinkantį tam suspaudimui temperatūros pakilimą ϑ, pritaikinsime prie eksperimento davinių Gay-Lussac'o dėsnį. Einant tuo dėsniu $v = v_0(1+\alpha t)$, iš kur $v_0 = \frac{v}{1+\alpha t}$. Antra vertus, $v^1 = v_0[1+\alpha(t+\vartheta)] = \frac{v[1+\alpha(t+\vartheta)]}{1+\alpha t}$. Taigi $\frac{v^1}{v} = \frac{1+\alpha(t+\vartheta)}{1+\alpha t} = \frac{B}{B-h}$, nes turiui v^1 atitinka pakilusi temperatūra $t+\vartheta$ ir padidėjęs spaudimas B, lygus išoriniam spaudimui; o nusistačius vėl temperatūrai t, mes turime turį v esant spaudimui $B - h^1$. Iš paskutinės lygties išeina $1+\alpha(t+\vartheta) = \frac{B(1+\alpha t)}{B-h^1}$, iš kur išeina $\vartheta = \frac{h^1(1+\alpha t)}{\alpha(B-h^1)}$. Iš anksčiau duotos proporcijos ß: $\frac{\alpha}{1+\alpha t} = \vartheta : \tau$; mes turime $\tau = \frac{ß(1+\alpha t)}{\alpha\vartheta}$. Pakeitę čia ϑ ir ß ju reiškiniais, mes gausime $\tau = \frac{\alpha h^1(1+\alpha t)(B-h^1)}{\alpha(B-h^1)(h-h^1)(1+\alpha t)} = \frac{h^1}{h-h^1}$. Taigi pakanka tiktai nustatyti manometro parodymai esant t temperatūrai, išsiurbus dalį oro ir įleidus orą kada atsistatys ta pati temperatūra t, kad galima būtų apskaityti temperatūros pakilimas τ, atitinkąs adiabatiškam relatyviam suspaudimui $\frac{\alpha}{1+\alpha t}$. Kadangi $\frac{c_p}{c_v} = 1+\tau$, tai tokiu būdu ir galima surasti santykis tarp abiejų oro arba aplamai dujų lyginamųjų šilimų. Clement'as ir Desormes'as darė bandymus su oru ir konstatavo, kad santykis $\frac{c_p}{c_v} = 1{,}357$. Vėliau kiti tyrinėtojai atkartojo Clement'o ir Desormes'o eksperimentą naudodamiesi tobulesnėmis priemonėmis ir surado šitam santykiui skaičių 1,41. Tuo pačiu keliu galima nustatyti šitas santykis ir kitoms dujoms. Taigi dujoms pakanka surasti lyginamoji šilima, kai esti nuolatinis spaudimas, nes lyginamoji šilima nuolatiniame tūry gali būti apskaityta remiantis žinomu santykiu.

Pirmutinis Regnault'as tiksliai nustatė visai eilei dujų lyginamąją šilimą, esant nuolatiniam spaudimui. Mes čia ir aprašysime Regnault'o dujų kalorimetrą, kurį atvaizduoja 33 piešinys, ir jo metodą. Mes čia turime dujų rezervuarą V (arba gazometrą, pilną dujų), kuris randasi dideliam rezervuare su vandeniu nuolatinės temperatūros. Be to, mes turime dujų šildytuvą E, kuris susideda iš metalinio indo su dvigubais šonais, pripiltą tokio aliejaus, kurio virimo temperatūra yra augštesnė kaip 200°. Šitame inde randasi vario vynioklis (žaltys), kuris iš vienos pusės sujungtas per NRS su gazometru, o iš kitos pusės irgi su vario vyniokliu kalorimetro D. Tas kalorimetras visais atvejais panašus į jau aprašytą vandens kalorimetrą ir skiriasi nuo pastarojo tik tuo, kad turi vynioklį. Ir šildytuvas ir kalorimetras turi maišiklius ir termometrus. Aliejus šildomas iš apačios didesnės lempos pagalba taip, kad jis įgautų nuolatinę temperatūrą T (apie 200°). Reguliuojant lempos liepsną visuomet galima atsiekti toks stovis, kad kiekvieną sekundą šildytuvui bus suteikta tiek kalorijų, kiek jis atiduoda orui radiacijos būdu. Tada mes ir turėsime vadinamąjį statinį stovį su nuolatine temperatūra T. Eksperimentas daromas taip: dujos iš gazometro leidžiamos su vidutinišku greitumu (neperlėtai ir nepergreitai) per šildytuvo žaltį, kur jos pašildomos iki temperatūros T. Kad jos tikrai įgytų šildytuvo temperatūrą T, joms ir duodamas ilgas kelias per vynioklio vingius. Šildytuvo maišiklis visą laiką veikia, kad būtų užtikrinta vienoda temperatūra visoj aliejaus masėj. Būtinai reikalinga, kad dujų srovė eksperimento metu eitų per vynioklį vienodu greitumu. Tam tikslui pasiekti šildytuvo vynioklis sujungtas su gazometru regulatoriaus R pagalba. Atidarius sraigtu R kanalą, jungiantį vamzdžius N ir S, dujos iš gazometro eis į šildytuvo vynioklį ir toliau į kalorimetro vynioklį, iš kur jos išeis laukan į orą. Taigi spaudimas dujų rezervuare

V nuolat mažės ir del tos priežasties nuolat mažės ir dujų srovės greitumas, nes tas greitumas yra tiesiog proporcingas spaudimo puolimui. Bet išsukdami vis labiau ir labiau sraigtą R, mes didinsime skylę, pro kurią dujos iš gazometro pereina į šildytuvo vynioklį, ir tuo būdu kompensuosime greitumo sumažėjimą del priežasties spaudimo sumažėjimo, nes dujų srovės greitumas tarp ko kita yra tiesiog proporcingas ištekėjimo skylės skerskrodžio plotui. Taigi sraigto R pagalba mes eksperimento metu turime galimumo reguluoti dujų srovę pro šildytoją ir pro kalorimetrą taip, kad ji būtų vienodo greitumo, apie kurį mes spręsime iš dujų spaudimo šildytuvo ir kalorimetro vynioklіuose. Kad kiekvienu momentu galima būtų matyti šitą spaudimą, su šildytuvo vyniokliu sujungtas manometras M, kuris ir rodo dujų spaudimą. Taigi



Pieš. 33.

veikdami sraigtu R, mes turime galimumo eksperimento metu palaikyti tą patį dujų spaudimą. Pašildytos iki temperatūros T dujos patenka į kalorimetro vynioklį ir atiduoda čia kalorimetro indui, vyniokliui, maišikliui, termometrui ir vandeniui savo šilimos dalį, atvėsdamos nuo temperatūros T iki galutinės kalorimetro temperatūros t. Kad dujos tikrai galėtų atvėsti iki temperatūros t, joms ir kalorimetre duodamas ilgas kelias pro vynioklio vingius. Iš pradžios dujos leidžiamos per kalorimetrą kurį laiką, pakol kalorimetras pasieks statinę temperatūrą t, keletu laipsnių augštesnę kaip kambario temperatūra t_0. Kada toksai stovis pasiektas, o jis visuomet galima pasiekti, tai reiškia, kad kiekvieną sekundą kalorimetras gauna iš dujų tiek kalorijų, kiek jis atiduoda kambario orui radiacijos būdu. Pasiekus šitą statinį stovį atskaitomas dujų spaudimas P gazometre tam tikro manometro pagalba, kuris piešiny neatvaizduotas, ir per laiką z sekundų dujos vienodu greitumu leidžiamos per šildytuvą ir kaloritmetrą, taip kad kalorimetro statinė temperatūra t pasiliktų be atmainos. Kranas S uždaromas, lygiai kaip ir ištekėjimo skylė sraigto R pagalba, ir atskaitomas vėl dujų spaudimas gazometre p. Dabar kalorimetro temperatūra del priežasties radia-

cijos ims kristi, nes sustojus dujų srovei, kalorimetro orui atiduota šilima nebebus kompensuojama šilimos, paimtos iš dujų. Per z^1 sekundą mes stebėsime tą temperatūros puolimą, sakysime, pakol kalorimetro temperatūra pasieks t^0_1. Pažymėsime kalorimetro vandens masę raide M ir jo vandeninį ekvivalentą raide W. Nupuolus kalorimetro temperatūrai nuo t iki t_1, kalorimetras atiduos orui $(M + W)(t - t_1)$ kalorijų, vadinas, per 1 sekundą kalorimetras, pasiekęs statinę temperatūrą t, atiduoda orui radiacijos būdu $\frac{(M+W)(t-t_1)}{z^1}$. Kiek gi per vieną sekundą dujos suteikia kalorimetrui šilimos, pasiekus kalorimetrui statinę temperatūrą t? Norint atsakyti į šitą klausimą pirmiausia reikia apskaityti, kokia masė dujų pereis per kalorimetrą per z sekundų. Pažymėsime dujų tankumą gazometre esant P spaudimui raide d. Tad visa dujų masė gazometre bus V. d. Sumažėjus per z sekundų spaudimui iki p, sumažės ir dujų tankumas iki d', taip kad $\frac{d'}{d} = \frac{p}{P}$, nes esant gazometro temperatūrai pastoviai, dujų tankumas bus tiesiog proporcingas jų spaudimui einant Boyle-Mariott'o dėsniu. Taigi $d' = d \cdot \frac{p}{P}$ ir, vadinasi, likusi gazometre dujų masė bus $V. d. \frac{p}{P}$.

Taigi ištekėjusi iš gazometro ir perėjusi per kalorimetrą per z sekundų dujų masė m bus lygi $Vd - Vd\frac{p}{P} = Vd\left(1 - \frac{p}{P}\right) = m$. Pažymėsime lyginamąją tų dujų šilimą esant nuolatiniam spaudimui raide c_p. Įeidamos į kalorimetrą tos dujos turi temperatūrą T, išeidamos iš kalorimetro jos turi statinę temperatūrą t. Taigi per z sekundų dujos suteikia kalorimetrui $m\,c_p\,(T-t)$ kalorijų, o per vieną sekundą $\frac{m\,c_p\,(T-t)}{z}$. Kadangi, pasiekus kalorimetrui statinį stovį, suteiktas jam šilimos kiekis per sekundą yra lygus radiacijos būdu atiduotam šilimos kiekiui, tad $\frac{m\,c_p\,(T-t)}{z} = \frac{(M+W)(t-t_1)}{z^1}$, iš kur $c_p = \frac{(M+W)(t-t^1)\,z}{m\,(T-t)\,z^1}$.

Duosime čia kelius pavyzdžius dujų lyginamosios šilimos esant nuolatiniam spaudimui, nustatytų Regnault'o augščiau aprašytu būdu:

Oras	0,241
Deguonis	0,218
Azotas	0,249
Vandenilis	3,4
Anglies viendeginis.	0,25

Visoms šitoms dujoms santykis $\frac{c_p}{c_v} = 1{,}41$. Taigi, pavyzdžiui, oro lyginamoji šilima, esant nuolatiniam tūriui, bus $\frac{0{,}241}{1{,}41} = 0{,}17$ (apytikriai), vandeniliui $\frac{3{,}4}{1{,}41} = 2{,}4$ (apytikriai) ir t. t. Bet mes čia matome, kad vandenilio lyginamoji šilima yra didesnė už visų kitų kūnų lyginamąją šilimą.

Padauginę tų ar kitų dujų lyginamąją šilimą iš molekulinio svorio mes gausime vadinamąją molekulinę šilimą, kuri visai eilei prastesnės sudėties dujų yra gangreit ta pati (analogija su Dulong'o ir Petit'o dėsniu, kuris liečia kietų elementų atominę šilimą). Žemiau duodamoje lentelėje nurodomos dujos, jų molekulinė formula, jų molekulinės šilimos esant nuolatiniam spaudimui c_p ir nuolatiniam tūriui c_v, ir pagaliau santykis $\frac{c_p}{c_v}$.

Dujos	Formula	Molek. šilima esant nuolatin. spaudimui C_p	Molek. šilima esant nuolatin. tūriui C_v	$\frac{C_p}{C_v}$
Argonas	A	—	—	1,67
Helijus	He	—	—	1,67
Neonas	Ne	—	—	1,64
Kryptonas	Kr	—	—	1,69
Ksenonas	Xe	—	—	1,67
Gyvasai sidabras (garai)	Hg	—	—	1,67
Kalis	K	—	—	1,70
Vandenilis	H_2	6,82	4,82	1,41
Azotas	N_2	6,83	4,83	1,41
Deguonis	O_2	6,96	4,96	1,40
Chloras	Cl_2	8,58	6,58	1,30
Bromas	Br_2	8,88	6,88	1,29
Azoto monoksidas	NO	6,95	4,95	1,40
Azoto pusdeginis	N_2O	9,94	7,94	1,25
Anglies monoksidas	CO	6,86	4,86	1,41
Anglies dioksidas	CO_2	9,55	7,55	1,26
Metanas	CH_4	9,49	7,49	1,27

Šita lentelė pirmiausia rodo, kad daugeliui dujų molekulinės šilimos ar esant nuolatiniam spaudimui ($M . c_p = C_p$), ar esant nuolatiniam tūriui ($M . c_v = C_v$) yra gangreit tos pačios, ir kad skirtumai tarp tų dviejų šilimų yra lygūs dviem kalorijom. Ką reiškia šitas skirtumas? Mes jau anksčiau matėme, kad skirtumas $c_p - c_v$ dujų masės vienetui yra lygus darbui, kurį atlieka vienas gramas dujų prieš atmosferos spaudimą, augant jo tūriui del priežasties temperatūros pakilimo 1^0. Vadinasi, šitas šilimos skirtumas eikvojamas atlikti nurodytam darbui. O darbas yra lygus spaudimui, padaugintam iš tūrio padidėjimo $p (v_2 - v_1)$, jeigu mes nuolatinį spaudimą pažymėsime raide p, pirmykštį tūrį raide v_1 ir padidėjusį tūrį raide v_2 (kas lengva suprasti, jeigu įsivaizduoti sau indą, kuriame randasi dujos su skerskrodžio plotu kv. cm., nes tada $v_2 - v_1$ bus ne kas kita, kaip augštis, kokio bus pakeltas svoris, lygus išoriniam spaudimui p.). Eidami Gay-Lussac'o dėsniu, esant nuolatiniam spaudimui mes turime $\frac{v_2}{T+1} = \frac{v_1}{T}$, jeigu mes raide T pažymėsime pradžios absolutinę temperatūrą. Iš čia išeina $\frac{v_2 - v_1}{v_1} = \frac{1}{T}$, arba $v_2 - v_1 = \frac{v_1}{T}$ ir, vadinas, atliktas darbas $p (v_2 - v_1) = \frac{pv_1}{T} = \frac{RT}{T} = R$ (nes $pv = RT$). Taigi tas darbas ir, vadinas, jam atlikti išeikvotas šilimų skirtumas yra ne kas kita kaip dujų konstanta, apie kurią mes kalbėjome anksčiau ir kurią mes išreiškėme ergais, ir kuri, apskaitant ją dujų gramomolekulai, yra lygi $8,3 . 10^7$ ergų. Vadinas, $C_p - C_v = \frac{R}{J}$, kur J reiškia mechaninį šilimos ekvivalentą, būtent, $419 . 10^5$ ergų vienai mažai kalorijai. Iš čia išeina, kad molekulinių šilimų skirtumas visoms dujoms yra tas pats ir yra lygus dujų konstantai R, kuri, išreiškiant ją kalorijomis, bus $\frac{R}{J} = \frac{8,3 . 10^7}{419 . 10^5} = 1,98$, arba, apskritai, dvi kaloriji. Augščiau paduota lentelė šitą išvadą patvirtina.

Iš kinetinės dujų teorijos mes jau žinome, kad $pv = {}^2/_3 N {}^1/_2 mc^2$. Čia N reiškia molekulų skaičių, m atskiros molekulos masę ir c — vidutinį molekulos greitumą. Taigi turio ir spaudimo sandauga, einant kinetine dujų teorija, yra lygi $^2/_3$ dujų kinetinės energijos. Antra vertus, ta sandauga yra lygi RT. Taigi $^2/_3 N {}^1/_2 mc^2 = RT$,

iš kur $T = {}^2/_{3R} N\, ^1/_2\, m.\, c^2$ Vadinas, absoliutinė dujų temperatūra yra proporcinga kinetinei dujų energijai, taip kad čia jau mes matome aiškų ryšį tarp dujų molekulų šilimos stovio ir ju judėjimo. Kaip gi mainosi tų dujų kinetinė energija? Eidami Gay-Lussac'o dėsniu, esant nuolatiniam turiui, mes turime santykį: $\frac{p_2}{p_1} = \frac{T+1}{T}$, čia p_1 reiškia pradžios spaudimą dujų gramomolekulai, p_2 —spaudimą pakilus temperatūrai 1^0 ir T—pradžios absolutinę temperatūrą. Iš čia išeina $\frac{p_2 - p_1}{p_1} = \frac{1}{T}$, arba $p_2 - p_1 = \frac{p_1}{T}$. Tai bus spaudimo padidėjimas pakilus temperatūrai 1^0, kada dujos šildomos taip, kad jų tūris nesiskečia. Pažymėsime dabar dujų molekulų greitumą esant T temperatūrai raide c_1 ir esant $T+1$ temperatūrai raide c_2, tad kinetinės energijos padidėjimas bus lygus $N.\ ^1/_2\, mc_2^2 - N\ ^1/_2\, mc_1^2 = {}^3/_2\,(p_2 - p_1)\, v = {}^3/_2\, \frac{P_1 V}{T} = {}^3/_2\, R$ (nes iš $pv = {}^2/_3\, N\, ^1/_2\, mc^2$ seka $N\, ^1/_2\, mc^2 = {}^3/_2\, pv = {}^3/_2\, RT$.)

Taigi pakėlus dujų temperatūrą, esant nuolatiniam tūriui, 1^0, jų kinetinės energijos padidėjimas bus ${}^3/_2\, R = {}^3/_2\, (Cp - Cv)$. Šildant dujas, esant nuolatiniam tūriui, aplamai dalis suteiktos šilimos eis molekulų greitumui, vadinas, jų kinetinei energijai padidinti, o dalis atomų, iš kurių susideda molekulos, — kinetinei energijai padidinti, taip kad aplamai suteikta gramomolekulai šilima C_v bus didesnė, kaip kinetinės energijos padidėjimas. Bet mes turime dujų, kurių molekulos susideda tik iš vieno atomo. Tokiu atveju visa dujoms suteikta šilima C_v, esant nuolatiniam tūriui, gali apsireikšti tik kinetinės energijos padidėjimu. Vadinas, vienatominėms dujoms mes turėsime $C_v = {}^3/_2\,(C_p - C_v)$, iš kur išeina $\frac{C_p}{C_v} = {}^5/_3 = 1{,}67$. Sita kinetinės teorijos išvada visiškai patvirtina augščiau paduotą lentelę, kurioje santykis $\frac{C_p}{C_v}$ argonui, helijui, neonui, kryptonui, ksenonui, gyvojo sidabro garams ir kalijaus garams yra lygus 1,67—1,70. Visų šitų dujų molekulos vienatominės. Be to, iš $C_v = {}^3/_2\,(C_p - C_v)$ išeina $C_v = {}^3/_2 .\ 2 = 3$. Vadinas, vienatominių dujų molekulinė šilima, esant nuolatiniam tūriui, yra lygi trims kalorijoms (o esant nuolatiniam spaudimui $3 + 2 = 5$ kalorijoms).

Bet jeigu dujų molekula susideda iš dviejų ir daugiau atomų, tai dalis suteiktos šilimos, esant nuolatiniam tūriui, bus išeikvota temperatūros pakilimui, o kita dalis, mažesnė, pakeis sudarančių molekulas atomų vienas kito atžvilgiu relatyvę padėtį, vadinas, bus išeikvota įvairioms atmainoms viduj molekulos ir net, gal, molekulos daliniam suskaldymui ir todel neapsireikš temperatūros pakilimu. Taigi molekulinė šilima tokių dujų, esant nuolatiniam tūriui, bus didesnė kaip trys, sakysime, bus $3 + m$. O molekulinė šilima esant nuolatiniam spaudimui bus $5 + m$, o santykis $\frac{C_p}{C_v} = \frac{5+m}{3+m} < 1{,}67$. Augščiau paduota lentelė mums ir rodo, kad tas santykis dviatominėms dujų molekuloms, kaip, pav., vandenilis, deguonis, yra lygus 1,41 $\left(\frac{5+2}{3+2} = \frac{7}{5}\right)$, triatominėms molekuloms, kaip, pav., N_2O, CO_2 tas santykis lygus 1,25—1,29 $\left(\frac{5+3}{3+3} = \frac{4}{3}\right)$

Pažymėsime čia dar, kad šitą santykį $\frac{C_p}{C_v}$ galima surasti nustatant garso greitumą dujose einant Laplace'o formula $v = \sqrt{\frac{C_p}{C_v} \frac{P}{D}}$, kur v reiškia garso greitumą P — dujų spaudimą ir D — dujų tankumą. Prie šito klausimo mes dar grįšime garso skyriuje. Čia svarbu tik pabrėžti, kad nustatę santykį $\frac{C_p}{C_v}$ mes galime spręsti apie dujų molekulų sudėtį, būtent, ar jos vienatominės, ar dviatominės, ar triatominės ir t. t. William Ramsay, išradėjas ir tyrinėtojas retų oro dujų, kaip argonas, helijus, neonas ir t. t., ir nustatė tokiu būdu jų molekulų vienatominę struktūrą.

12 §. Šilimos konvekcija ir laidumas.

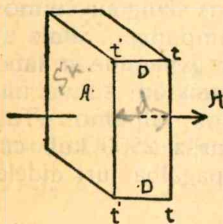
Mes jau augščiau kalbėjome apie tai, kokiais būdais šilima slenka iš vienos vietos erdvėje į kitą vietą, arba kokiu būdu šilima iš vienų kūnų pereina į kitus kūnus. Kada tarp kietų kūnų randasi skysčiai arba dujos, arba kada mes turime darbą su šilimos judėjimu skysčiuose ir dujose, tai tokiais atvejais šilima daugiausia pereina iš vienos vietos į kitą vietą konvekcijos būdu: sušilę skysčių ar dujų sluogsniai skečiasi ir kaipo lengvesni kįla augštyn ir nuneša su savimi dalį šilimos, suteikdami ją tiems kūnams, kuriuos jie paliečia. Priešingon pusėn slenka šaltesni arba sunkesni skysčių arba dujų sluogsniai. Vienu žodžiu, šildant skysčius arba dujas susidaro cirkulacija, kuri nelyginant kaip mechaninis maišymas, bet žymiai greičiau, veda prie vienodo šilimos paskirstymo, išlygina temperatūrą. Šitoki šilimos konvekcija pareina nuo: 1) lyginamosios skysčių arba dujų šilimos (vadinas, kokį kiekį šilimos paima su savim kiekvienas gramas); 2) nuo skėtimosi koeficiento (juo labiau skysčiai ar dujos skečiasi, juo smarkesnė cirkulacija); 3) nuo klampumo (juo mažesnis skysčių ar dujų klampumas juo didesnis judėjimas); 4) ir pagalios nuo ilgio ir skerskrodžio ploto tų vamzdžių ir kanalų, pro kuriuos eina srovė. Vanduo turi didžiausią lyginamąją šilimą (išskiriant vandenilį). Vadinas, 1 gr. vandens neša su savim užvis daugiau šilimos, bet vanduo silpnai skečiasi nuo šilimos ir, be to, turi nemažą klampumą. Šitais atžvilgiais oras būtų patogesnis šilimai perduoti, bet nežiūrint tai, ir gyvenime ir laboratorijose mes dažniausiai naudojamės vandens cirkulacija, kad suteiktum šilimą nuo šiltų kūnų šaltiems kūnams del priežasties didelio vandens šilimos talpumo. Taip 1 kub. cm. vandens nuneša su savim tiek pat šilimos, kiek jos nuneša 2500 kub. cm. oro. Del tos priežasties kaip šildymas taip ir vėsinimas vandens pagalba turi didelės praktiškos reikšmės.

Vėsinant vandeniu visuomet laikomasi priešingos srovės principo, būtent; šilta, sakysim, garų arba vandens srovė ir šalta vandens srovė visuomet atkreiptos viena prieš kitą, kad žemesnės temperatūros garų arba dujų dalys susitiktų su šaltesniu vandeniu ir atbulai. Taip pat šildant butus vandeniu: visi radiatoriai randasi ant vamzdžių, kuriais vanduo nuteka žemyn.

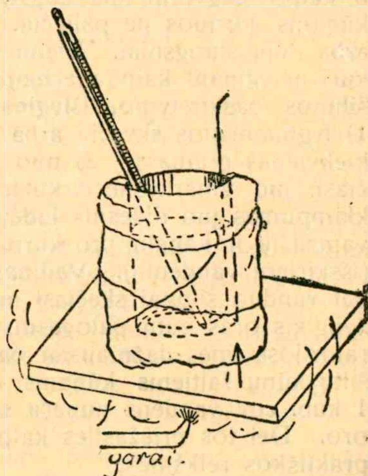
Kada kokio nors kieto kūno dalis turi nevienodą temperatūrą arba kada du kūnai nevienodos temperatūros randasi kontakte tarpininkaujant trečiajam kietam kūnui, tai šilima slenka iš augštesnės temperatūros vietų į žemesnės temperatūros vietas laidumo būdu. Mes tada kalbame apie kūnų šilimos laidumą, kuriam įvykti irgi reikalingas materijos tarpininkavimas. Bet šilimos laidumo procesas nesurištas tarpininkaujančios materijos sluogsnių slinkimu vienas kito atžvilgiu. Materijos sluogsniai pasilieka savo vietose, ir čia galima tik kalbėti apie tų sluogsnių molekulų kinetinės energijos padidėjimą, pritekant į juos šilimos, ir apie perdavimą tos kinetinės energijos nuo vieno sluogsnio kitam sluogsniui molekulų susidūrimu, einant kinetinės materijos teorijos dėsniais. Taigi šilimos laidumas nepareina visiškai nuo materijos sluogsnių tankumo ir nuo svarumo jėgos, o tepareina tik nuo temperatūros skirtumo ir nuo medžiagos prigimties. Norint pamatyti skirtumas tarp įvairios medžiagos laidumo galima paimti laibus stiebus, sakysime, 10 cm. ilgio iš vario, geležies, švino, stiklo ir t. t. ir pastačius prieš liepsną kraną su plyšiu, turint rankoje vienus tų stiebų galus, kitus jų galus įkišti per plyšį į liepsną ir laikrodžio pagalba nustatyti laiką, per kurį laikomas rankoje stiebo galas taip įkais, jog nebegalima bus jau jo laikyti rankoje. Užvis greičiau prisieis paleisti iš rankos vario stiebą, paskui geležies, švino, o stiklo stiebo galą galima bus laikyti rankoje ištisą valandą. Mes sakome, kad užvis geresnis šilimos laidininkas yra varis ir blogas laidininkas — stiklas. Tokiu eksperimentu galima net nustatyti relatyvus laidumas, nes tas laidumas bus atvirkščiai proporcingas laikui, per kurį laikomas rankoje stiebo galas įkaista taip, jog jį reikia paleisti. Taigi mes kalbame apie gerus šilimos laidininkus ir blogus laidininkus. Visi metalai yra geri šilimos laidininkai, taip pat kaip jie yra geri elektros laidininkai. Aplamai, tarp šilimos ir elektros laidumo reiškiasi ne tik analogija, bet ir artimi ryšiai. Kai kurie mineralai (čerpės, plytos) yra pusėtini laidininkai. Medis, popierius, lekas,

siūlas yra blogi laidininkai. Taip, uždegus degtuką arba siūlo galą galima laikyti kitą galą rankoje pakol liepsna pasieks tą galą. Taip pat blogi šilimos laidininkai yra visi skysčiai, jeigu tik jie šildomi taip, kad negali susidaryti konvekcijos srovės. Oras, lygiai kaip ir kitos dujos, skaitomi nelaidininkais arba izolatoriais, nors labai mažą laidumą visgi reikia jiems pripažinti. Absolutinis šilimos izolatorius yra tuštuma, nes per tuštumą, kaip jau mes matėme, šilima sklinda bangomis arba spinduliais (šilimos radiacija).

Įsivaizduokime sau kietą kūną, paralelopipedo pavidalu (žiūr. 34 pieš.), kurio šonas A turi temperatūrą t_1 ir šonas H žemesnę temperatūrą t_0. Tegu atokumas tarp tų šonų yra lygus d cm. ir šono A paviršius s kv. cm. Jeigu šildant šitą kūną pasiektas toks stovis, kad kiekvieną sekundą paralelopipedo šonas gauna tiek kalorijų, kiek kitas paralelopipedo šonas H atiduoda kolorijų, tai bus statinis stovis su nesimainančiomis šonų A ir H temperatūromis. Tokiomis aplinkybėmis visas perduotas nuo šono A šonui H šilimos kiekis bus proporcingas šono A paviršiui ir laikui. Tai savaime suprantama. O prityrimas rodo, kad tas šilimos kiekis bus dar proporcingas temperatūros skirtimui $t_1 - t_0$ ir atvirkščiai proporcingas atokumui d tarp šonų A ir H. Mes galime sau įsivaizduoti, kad mūsų paralelopipedas padalintas į sluogsnius lygiagrečiai šonams A ir H 1 cm. storumo. Tad mes turėsime iš viso d tokių sluogsnių, ir temperatūros



Pieš. 34.



Pieš 35

puolimas kiekvienam sluogsnio storumui 1 cm. bus lygus $\frac{t_1 - t_0}{d}$. Taigi mes galime pasakyti, kad perduotas per 1 sekundą šilimos kiekis bus proporcingas temperatūros puolimui. Pažymėsime visą perduotą šilimos kiekį per z sekundų raide Q (kalorijų). Tad mes turime $Q = \frac{k.s.z\,(t_1 - t_0)}{d}$. Čia k yra proporcingumo veiksnis, kuris pareina nuo medžiagos rūšies ir kuris vadinasi fizikoje šilimos laidumo koeficientas. Norint suprasti jo reikšmė, reikia įsivaizduoti sau 1 kub. cm. bet kurios medžiagos, taip kad tarp dviejų to kubelio šonų temperatūros skirtumas būtų 1^0. Koks šilimos kiekis pereis tokiomis sąlygomis nuo vieno kubelio šono į kitą per 1 sekundą? Aišku, kad tas šilimos kiekis Q šituo atveju bus lygus k, nes augščiau duotosios lygties dešiniojoje dalyje visi dydžiai, išskyrus k, bus lygūs vienetui. Taigi laidumo koeficientas yra kalorijų skaičius (visuomet trupmena, mažesnė už vienetą), kuris, esant tarp dviejų kubinio centimetro šonų temperatūrų skirtumui 1^0, pereina nuo vieno kub. centimetro šono į kitą per 1 sekundą.

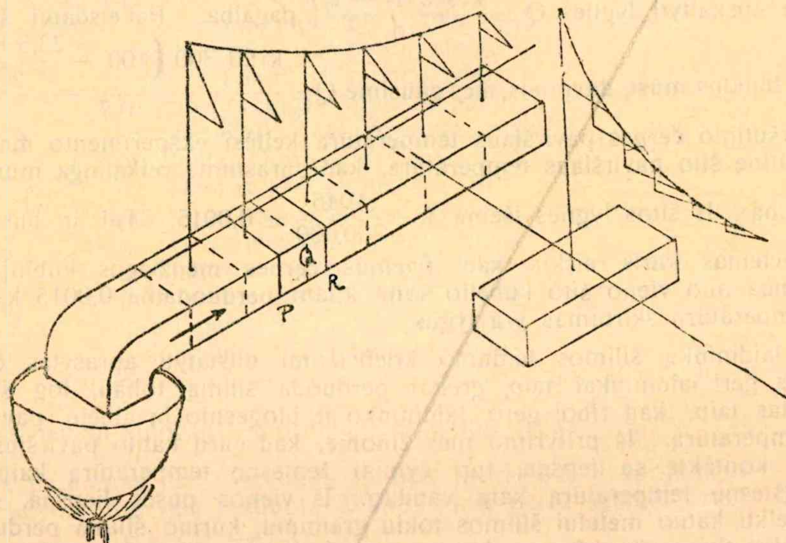
Lygtis $Q = \frac{k.s.z\,(t_1 - t_0)}{d}$ išoriniu savo paveikslu visiškai yra panaši į hidrodinaminę lygtį, kurios pagalba apskaitomas skysčio srovės greitumas vamzdžiuose ir kanaluose. Todel ir čia mes kalbame apie šilimos tekėjimą, arba srovę, ir šilimos srovės greitumu vadiname dydį $\frac{Q}{Z}$, vadinas, kalorijų skaičius, kuris per 1 sekundą perеina per visą kūno skerskrodžio plotą bet kurioj kūno vietoj.

Pasinaudosime pirmiausia šita lygtimi, norėdami surasti šilimos laidumo koeficientą kokio nors pusėtino laidininko, sakysime, čerpės. Paimsime čerpę

pavidalu keturkampės plokštės, storumo 0,7 cm. Iš apačios šildysime ją, paleidę ant jos verdančio vandens garų srovę, o ant jos pastatysime kalorimetrą su vandeniu, termometru ir maišikliu (žiūr. 35 pieš.). Kad būtų geresnis kontaktas tarp čerpės paviršiaus ir kalorimetro dugno, užpilsime ant čerpės paviršiaus ploną sluogsnį aliejaus arba net ištepsime kalorimetro dugną taukais. Tegu kalorimetro dugno plotas bus 20 kv. cm. ir tegu per 300 sekundų kalorimetro vandens masės ir paties kolorimetro temperatūra pakils nuo 14^0 iki $23{,}5^0$. Kalorimetro šilimos nuostoliams radiacijos būdu kiek galima sumažinti, kalorimetro šonai, kaip rodo piešinys, apdengti vatos sluogsniu. Jeigu kalorimetro vandens masė ir jo vandeninis ekvivalentas sudaro 110 gr., tad suteikta kalorimetrui šilima bus lygi 110 $(23{,}5^0 - 14^0) = 1045$ kalorijos. Bet šita šilima suteikta per čerpės sluogsnį nuo jos apatinio paviršiaus, kurio temperatūra visą laiką yra lygi 100^0, į jos viršutinį paviršių, kuris randasi kontakte su kalorimetro dugnu ir kurio temperatūra per 300 sekundų pakilo nuo 14 iki $23{,}5^0$. Taigi suteiktą kalorimetrui šilimos kiekį mes galime apskaityti lygties $Q = \frac{k.s.z\,(t_1 - t_0)}{d}$ pagalba. Pakeisdami šitoje lygtyje algebrinius ženklus mūsų daviniais, mes gausime $Q = \frac{k.20.300\left(100 - \frac{23{,}5+14}{2}\right)}{0{,}7} = 1045$.
Kadangi viršutinio čerpės paviršiaus temperatūra keitėsi eksperimento metu, tai mes imame vidutinę šito paviršiaus temperatūrą, kad surastume reikalingą mums temperatūros puolimą. Iš šitos lygties išeina $k = \frac{1045}{700.000} = 0{,}0015$. Tai ir bus čerpės laidumo koeficientas, kuris reiškia, kad, paėmus čerpės medžiagos kubinį centimetrą, per 1 sekundą nuo vieno šito kubelio šono kitam perduodama 0,0015 kalorijų, jeigu tų šonų temperatūrų skirtumas yra lygus 1^0.

Gerų laidininkų šilimos laidumo koeficientui nustatyti aprašytas čia metodas netinka, nes geri laidininkai taip greitai perduoda šilimą toliau, jog sunku varyti eksperimentas taip, kad riboj gero laidininko ir blogesnio jų abiejų paviršiai turėtų tą pačią temperatūrą. Iš prityrimo mes žinome, kad garų katilo paviršius, kuris yra tiesiogiame kontakte su liepsna, turi žymiai žemesnę temperatūrą kaip liepsna ir žymiai augštesnę temperatūrą kaip vanduo. Iš vienos pusės liepsna, taip sakant, nespėja suteikti katilo metalui šilimos tokiu greitumu, kuriuo šilima perduodama nuo vieno metalo sluogsnio kitam. Antra vertus, vanduo, del priežasties savo blogo laidumo ir nepakankamo konvekcijos srovių greitumo, nespėja atimti nuo katilo metalo šilimą tokiu greitumu, kuriuo ji pristatoma nuo išorinių metalo sluogsnių tiems sluogsniams, kurie randasi tiesioginiame kontakte su vandeniu, nekalbant jau apie tai, kad tarp vandens ir metalo katile gali susidaryti ploni dujų sluogsniai, vadinasi, labai blogi laidininkai, nes, pavyzdžiui, oro sluogsnis 0,01 mm. storumo yra daug blogesnis laidininkas, kaip vario sluogsnis kelių centimet. storumo. Be to dar, turint įkaitintą gerą laidininką, kuris vėsta ore, reikia turėti minty, kad šilimos perdavimas radiacijos būdu (šilimos emisija) eina pamažiau kaip šilimos laidumas del augščiau nurodytų priežasčių, taip kad matuodami laidininko temperatūras įvairiose vietose paviršiuje ir gilesniuose sluogsniuose, mes prieisime prie nevienodų rezultatų. Forbes'as pašalino paminėtus čia trūkumus ir nepatogumus šiuo būdu (žiūr. 36 pieš.). Jis paėmė ilgoką metalinę siją skerskrodžio ploto s kv. cm. (keturkampio pavidalo) ir vieną tos sijos galą, užlenktą žemyn, įkišo į puodą su skystu švinu esant tam tikrai temperatūrai, augštesnei kaip švino tirpimo temperatūra. Reguluojant šilimą, suteikiamą puodui su švinu, buvo atsiektas statinis stovis, būtent, buvo atsiekta švino tynės nuolatinė temperatūra. O visa kita sijos dalis ir kitas jos galas buvo ore. Sijos paviršiuje buvo išgręžta eilė skylių vienoduose atokumuose viena nuo kitos, į tas skyles buvo pripilta gyvojo sidabro geresniam kontaktui ir į jas buvo įstatyta eilė termometrų (gyvojo sidabro termometrų arba elektros termometrų). Suteikiama įmerktam į šviną sijos galui šilima sklinda laidumo būdu per visą sijos ilgį ir tuo pačiu laiku dalinai

išeina nuo sijos paviršiaus į orą radiacijos būdu. Suprantama, kad artimiausias nuo švino tynės termometras rodys augščiausią temperatūrą, o tolimiausias termometras — žemiausią temperatūrą. Darant šitą eksperimentą reikia pirmiausia atsiekti statinė padėtis ta prasme, kad kiekvienas termometras rodytų nuolatinę temperatūrą, bet taip, kad pirmasai rodytų užvis augštesnę, antrasai — žemesnę, trečiasai — dar žemesnę ir t. t. Tokia padėtis bus atsiekta tada, kada pritekanti, sakysime, sijos skerskrodžio plotui Q šilima per sekundą ir to ploto perduota kitiems sijos sluogsniams bus radiacijos būdu perduota nuo sijos paviršiaus aplinkai. Tada kiekvienoje sijos vietoje kiek šilimos pritekės, tiek jos bus atiduota, ir mūsų termometrai įvairiose sijos vietose rodys įvairias temperatūras, bet kiekvieno termometro rodoma temperatūra nebesikeis. Taigi išreikšdami grafiškai temperatūros puolimą išilgai sijos (atidėdami, sakysime, ant sijos termometrų atokumus pirmojo nuo antrojo, pirmojo nuo trečiojo, ketvirtojo ir t. t. išilgai, ant abscisos, o tų termometrų parodymus ordinatomis, mes gausime temperatūros puolimo kreivąją liniją (36 pieš.). Mes iš tos kreivos surasime tempe-



Pieš. 36.

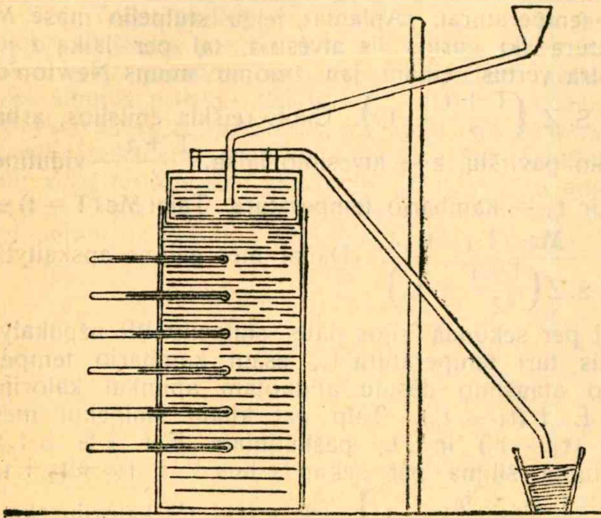
ratūras sijos skerspjūvių P ir R, tęsdami statmenis nuo abscisos taškų, atitinkančių padėčiai skerspjūvių P ir R iki susikirtimo tų statmenų su temperatūros puolimo kreivąja. Tų statmenų ilgiai duos mums reikalingas temperatūras skerspjūvių P ir R, sakysime t ir t^1. Pažymėję skerskrodžio Q plotą raide s ir eidami jau duotu šilimos tekėjimo dėsniu, mes galime išreikšti šilimos kiekį, kuris per 1 sekundą pereina per skerskrodį Q kaipo k. s $(t - t^1)$, priėmus, kad atokumas tarp skerskrodžių P ir R yra lygus 1 cm. Esant statiniam stoviui, kaip jau pasakyta, visas tos šilimos kiekis bus atiduodamas aplinkai tos sijos dalies, kuri randasi skerskrodžio Q užpakaly. Įsivaizduokime sau, kad šita sijos dalis padalinta į eilę stulpelių kiekvienas 1 cm. ilgio ir skerskrodžio ploto s kv. cm. ir kiekvienas su savo termometru, kuris įkištas į stulpelio vidurį, rodys jo vidutinę temperatūrą. Tegu tų stulpelių temperatūros iš eilės bus t_1, t_2, t_3, ... t_n. Kiekvienas iš tų stulpelių atiduoda aplinkai šilimą radiacijos būdu, ir suma visų tų šilimų bus ne kas kita, kaip šilima atiduota aplinkai visos sijos dalies, kuri randasi užpakaly stulpelio PR. Norint apskaityti šitą šilimą reikia atskiru, vadinamuoju dinaminiu, eksperimentu surasti sijos emisijos arba radiacijos koeficientą (pirmasai, jau aprašytas, eksperimentas vadinasi statinis eksperimentas). Šitą eksperimentą galima atlikti dvejopu būdu. Galima išpjauti iš sijos stulpelį tam tikro ilgio, arba iš tokios pat medžiagos pagaminti stulpelį tokio pat skerskrodžio ploto s kv. cm.

kaip sija. Įkaitinę šitą stulpelį vienodai iki temperatūros T ir įstatę į jo vidurį termometrą, registruosime termometro parodymus, sakysime, kas sekunda, vienu žodžiu, stebėsime stulpelio atvėsimą emisijos, arba radiacijos, būdu, aplinkos temperatūrai esant visą laiką t_0^0. Remiantis šitais daviniais mes galime nubrėžti atvėsimo kreivąją (36 piešinys iš dešinės pusės). Šita krevoji duos mums galimumo surasti radiacijos konstantą tiksliai bet kuriai stulpelio temperatūrai. Aplamai, jeigu stulpelio masė M ir jo lyginamoji šilima c, o temperatūra iki kurios jis atvėso t, tai per laiką z jo atiduota šilima bus Mc (T — t). Antra vertus, einant jau žinomu mums Newton'o dėsniu, ta atiduota šilima bus lygi $E.\,S.\,Z\left(\frac{T+t}{2}-t_0\right)$. Čia E reiškia emisijos, arba radiacijos, konstantą, S — visą stulpelio paviršių, z — atvėsimo laiką, $\frac{T+t}{2}$ — vidutinę stulpelio temperatūrą atvėsimo metu ir t_0 — kambario temperatūrą. Taigi $Mc\,(T-t) = E.\,S.\,Z\left(\frac{T+t}{2}-t_0\right)$, iš kur $E=\frac{Mc\,(T-t)}{S.\,Z\left(\frac{T+t}{2}-t_0\right)}$. Dabar mes galime apskaityti, kokį šilimos kiekį atiduoda aplinkai per sekundą sijos dalis stulpelio PR užpakaly. Pirmas tos užpakalinės dalies stulpelis turi temperatūrą t_1, esant kambario tempetūrai t_0, ir paviršių f. Tad Newton'o ataušimo dėsniu atiduotam aplinkai kalorijų skaičiui per 1 sekundą mes turime $E.\,f\,(t_1 - t_0)$. Taip pat kitam stulpeliui mes turėsime $E.\,f.\,(t_2 - t_0)$, trečiam $E.\,f\,(t_3 - t_0)$ ir t. t., paskutiniam $E.\,f\,(t_n - t_0)$. Vadinasi, visos tos sijos dalies atiduota šilima per sekundą bus $E.\,f\,[t_1 + t_2 + t_3 \ldots t_n - nt_0]$, arba $n\,E.\,f\left[\frac{t_1+t_2+t_3\ldots+t_n}{n} - t_0\right] = k.\,s\,(t - t^1)$ kalorijų skaičius, kurį perduoda per sekundą skerskrodis Q. Iš čia jau mes galime surasti laidumo koeficientą k.

Antras būdas radiacijos, arba emisijos, konstantai surasti yra toks. Pasiekę augščiau aprašytu būdu statinį temperatūros paskirstymą visame sijos ilgy ir užregistravę termometrų parodymus, mes atimame nuo kairiojo sijos galo puodą su švinu, vienu žodžiu, nustojame teikę jam šilimą. Kurį laiką, sakysim, per z sekundų, mes stebime sijos ataušimą registruodami termometrų parodymus. Tokiu būdu atskiriems stulpeliams, į kuriuos mes padaliname siją, mes gausime atvėsimo kreivąsias, kurios rodys temperatūros puolimą (tas temperatūros puolimas atvaizduotas 36 piešiny kiekvienam stulpeliui pavidalu nedidelės kreivosios, einančios žemyn nuo statinio stovio kreivosios). Tegu pirmasai termometras užpakaly stulpelio PR nupuls nuo t_1 iki t'_1, antrasai nuo t_2 iki t_2' ir t. t., paskutinis nuo t_n iki t'_n. Tad pirmasai stulpelis per z sekundų atiduos aplinkai $m.c\,(t_1 - t'_1)$ kalorijų, antrasai $m.c\,(t_2 - t'_2)$, trečiasai $m.c\,(t_3 - t'_3)$ ir t. t. ir paskutinis stulpelis $m.c\,(t_n - t'_n)$. Čia m reiškia vieno stulpelio masę ir c—sijos medžiagos lyginamąją šilimą. Taigi visa per z sekundų atiduota šilima bus $m.c\,[(t_1 + t_2 + t_3 + \cdots t_n) - (t'_1 + t'_2 + t'_3 + \cdots t'_n)]$. Padalinę šitą reiškinį iš z, surasime, kiek per sekundą sijos galas užpakaly PR atiduoda kalorijų aplinkai. Tegu tai bus q kalorijų, tad mes turime $k.s\,(t - t') = q$, iš kur laidumo koeficientas $k = \frac{q}{s\,(t - t')}$.

Forbes'o metodu pasinaudojo Despretz'as skysčių laidumo koeficientui surasti. Jis paėmė medinį cilindro formos indą 1 metro augščio ir 20 cm. diametro (37 piešinys). Tame inde buvo išgręžta eilė skylių vienodo atokumo, einant nuo augščio žemyn. Pro tas skyles į indą buvo įkišta eilė termometrų. Į viršutinę indo B dalį galima buvo įdėti negilus vario indas A tokios pat formos kaip indas B. Pripylus indą B bandomojo skysčio ir įdėjus indą A taip, kad jo dugnas būtų kontakte su įpilto skysčio paviršium, į indą A buvo pilamas karštas tam tikros temperatūros vanduo, kuris buvo atnaujinamas kas 5 minutės. Kadangi skysčiai yra blogi laidininkai, tai čia nuo indo A dugno šilima persiduoda žemesniems skysčio sluogsniams labai lėtai, taip kad visas eksperimentas tęsiasi nuo 36 iki 38 valandų, nes tik per tiek

laiko nusistato statinis stovis. Užregistravę termometrų parodymus ir padarę atskirą eksperimentą atvėsimui, nebesuteikdami šilimos per indą A, mes įgysime eilę davinių, kuriais remdamies galėsime apskaityti vandens arba kito kokio skysčio laidumo koeficientą, kaip jau augščiau aprašyta kietiems kūnams.



Pieš. 37.

Norint surasti dujų laidumo koeficientą elgiamasi taip. Paėmus gyvojo sidabro termometrą su dideliu rezervuaru, jis įkišamas į didelį indą su dujomis prieš tai pašildžius jį iki tam tikros temperatūros. Termometras vėsta atiduodamas šilimą laidumo, konvekcijos ir radiacijos būdais. Jo atvėsimas registruojamas, sakysime, kas sekunda ir konstruojama atvėsimo kreivoji. Atlikus tai, iš indo siurblio pagalba evakuojamos dujos, pakol jų spaudimas pasidarys mažesnis už 10 cm. gyvojo sidabro stulpo. Tai yra, kad išeinant iš dujų kinetinės teorijos galima parodyti, kad dujų šilimos laidumas, būvant mažesniems spaudimams, pasilieka be atmainos, tuo tarpu kaip konvekcija, būvant mažesniems spaudimams, gangreit nustoja veikti. Taigi žiūrimas termometro atvėsimas, eleminavus konvekciją, ir konstruojama atitinkama atvėsimo kreivoji. Pagaliau indas evakuojamas iki kraštutinio, kiek tik galima, ir žiūrimas termometro atvėsimas, eleminavus konvekciją ir laidumą, vadinasi, žiūrimas atvėsimas tik radiacijos būdu. Iš šitų trijų eksperimentų galima apskaityti dujų šilimos laidumo koeficientas.

Duosime čia kelis pavyzdžius laidumo koeficientų kietų, skystų ir dujiškų kūnų.

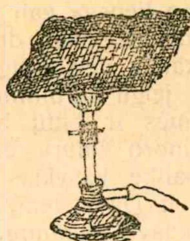
Sidabras	1,09	Marmulas	0,005
Varis, auksas	0,7	Stiklas	0,0015
Aluminius	0,34	Medis	0,0005
Misingis, cinkas	0,2	Ledas	0,0055
Geležis	0,17	Gyv. sidabras	0,0154
Švinas	0,08	Vanduo	0,00136
Kvarcas	0,02	Dujos	0,00003—0,00035.

Visi šitie skaičiai rodo kalorijų skaičių, kuris per 1 sekundą pereina nuo vieno paimtos medžiagos kubinio centimetro šono į kitą, esant temperatūros skirtumui tarp abiejų šonų 1°.

Kiek masingi metalai yra geri laidininkai, tiek tie patys metalai drožlių, pjūvenų, o ypač smulkių miltelių pavidalu yra blogi laidininkai, nes tokiais atvejais mes turime tarp atskirų metalo dalelių orą, kurio laidumo koeficientas yra lygus 0,00005 ir kuris trukdo šilimos perdavimą nuo vienos metalo dalelės kitai. Aplamai, jeigu mes turime akytą arba pluoštinę medžiagą, kurios akytėse arba tarpuose randasi oras ar kitos kurios dujos, tai tokia medžiaga visuomet bus blogas laidininkas ir gali būti vartojama izolacijos tikslams, pavyzdžiui: vata, vilnos, kailis, pūkai. Patys pluoštai čia yra pusėtini laidininkai, bet tarpai tarp pluoštų užimti oru, kuris yra labai blogas laidininkas, ir tuo būdu visa medžiaga darosi blogu laidininku. Tas pats reikia pasakyti apie azbestą ir magneziją, nes tarp azbesto pluoštų, lygiai kaip ir magnezijos akytėse, randasi oras. Norint pamaži atšaldyti geležies liejinį, liejikas kiša formą į smulkų smėlį. Tokiomis aplinkybėmis geležis vėsta labai pamaži, ir atlietas priekalas,

kuris sveria 1000 tonų, per 6 mėnesius randasi dar tokiame karštame stovyje, jog jo negalima paliesti. Visa izoluojančios medžiagos reikšmė yra ta, kad ji lėtina temperatūros keitimasi. Izoluojanti medžiaga negali sustabdyti šilimos judėjimo, bet ji daro to judėjimo greitumą mažą, taip kad temperatūra keičiasi nuosaikiai ir pamažiau, o tas turi ypatingos reikšmės augalams ir gyvuliams sveikam stovy užlaikyti. Taip, pavyzdžiui, veikia sniegas pasėlių atžvilgiu: jis lėtina dirvos atvėsimą ir daro šilimos judėjimą nuosaikesnį. Mūsų drabužiai gaminami irgi iš pluoštinės medžiagos, kad iš vienos pusės kiek labiau sumažintų šilimos judėjimo greitumą, bet iš kitos pusės nesustabdytų jo, nes tam tikra šilimos dalis turi būti atiduota aplinkai, kad fiziologinis procesas eitų normaliai. Be to, pluoštinė medžiaga drabužiams reikalinga dar ir tam, kad odos kvėpavimo produktai difuzijos būdu galėtų pasišalinti. Savaime suprantama, kad reikalinga ta pati izoluojanti medžiaga apsiginti ir nuo šalčio ir nuo karščio. Taigi šilimos judėjimas per drabužių medžiagą eina daugiausia per orą, kuris randasi drabužių pluoštinės medžiagos tarpuose, konvekcijos būdu, padedant drabužių medžiagos pluoštų laidumui. Aplamai galima pasakyti, kad viena konvekcija be laidumo negali išlyginti kūnų temperatūros skirtumų, nelyginant kaip mechaniškas maišymas negali išlyginti, sakysime, skiedinio koncentracijos skirtumų, nepadedamas difuzijos. Visuomet konvekcijos būdu šilima patenka į tokias vietas, iš kurių toliau ji gali būti perduota tik laidumo būdu. Taip pluoštinėj medžiagoj oro užimtuose tarpuose ji slenka konvekcijos būdu, bet pasiekusi pluoštus eina toliau laidumo būdu.

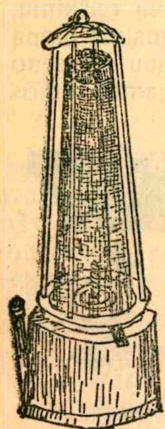
Aprašysime čia dar eilę įdomių ir dalinai praktikos atžvilgiu svarbių reiškinių, kurie remiasi kūnų šilimos laidumo ir jų šilimos talpumo įvairumu. Paimsime ploną vario arba misingio vielos tinklą ir laikysime jį keliais centimetrais augščiau Bunseno dujų lempos skylės (žiūr. 38 piešinį). Atidarius dujų kanalo kraną, degamos dujos (šviesos dujos) lengvai pereis per vario tinklo tarpus, nors jie ir labai maži būtų. Uždegsime dujas augščiau tinklo, — liepsna laikysis viršum tinklo, o apačioj tarp tinklo ir Bunseno lempos skylės ne tik nedegs, bet ir dujų temperatūra toje vietoje mažai tesiskirs nuo oro temperatūros. Kad oro ir bet kokios degamos medžiagos mišinys galėtų degti, reikia, kad to mišinio temperatūra pasiektų tam tikrą augštį. Šita temperatūra vadinasi užsidegimo temperatūra. Taigi geras vario arba misingio laidumas neduoda oro ir dujų mišiniui tinklo apačioj pasiekti šitą užsidegimo temperatūrą, nes šilima suteikiama liepsnos tinklui iš viršaus, galima sakyti, akimirka pasklinda po visą tinklo paviršių ir labai greitai suteikiama didelei aplinkinio oro masei. Jeigu tokia liepsna ilgą laiką dega, tai tinklo temperatūra gali tiek pakilti, jog ji jau nebespės perduoti aplinkai tiek šilimos, kiek ji gauna, ir tada dujų mišinys iš apačios įkais iki užsidegimo temperatūros ir užsidegs. Vadinasi, per ilgesnį laiką liepsna gali peršokti ir į tinklo apačią. Antra vertus, laikant metalinį tinklą viršum Bunseno lempos skylės ir uždegus dujų mišinį iš apačios, liepsna laikysis apačioj, o iš viršaus dujos bus taip atvėsę, jog jos nedegs del augščiau jau išdėstytos priežasties. Ta pati priežastis veikia liepsną gesinant, kai įkišamas į liepsną didesnės metalinės sijos galas. Tas metalinis galas taip greitai pagauna iš liepsnos šilimą ir taip greitai laidumo ir radiacijos būdu perduoda šitą šilimą aplinkos orui, jog liepsnos, kur yra ne kas kita, kaip karštas dujų mišinys, temperatūra puola žemiau užsidegimo temperatūros, ir liepsna išnyksta.




Pieš. 38.

Šitais faktais remiasi išrasta dar XVIII šimtmečio pabaigoj Davy atsargos lempa, kuri seniau, kol nebuvo įvesta elektros šviesa, labai buvo vartojama anglių kasyklose. Iš anglių sluogsnių kai kuriose vietose veržiasi degamų dujų mišinys, kuriame ypatingai daug yra metano, — vadinamųjų pelkių dujų, — kuris susimaišęs su oru sudaro sprog-

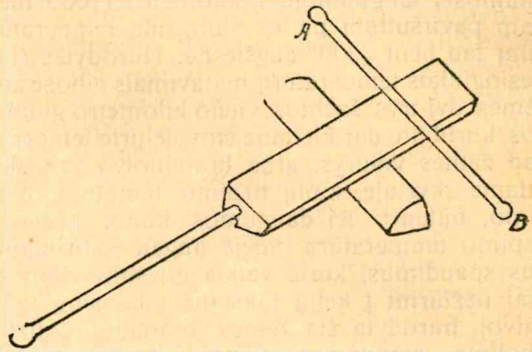
stamąją medžiagą, žinomą kaipo kasyklų dujos. Dirbant žmonėms giliai po žemėmis reikalinga šviesa, ir todel kitados kasyklų darbininkai visuomet turėdavo su savimi aliejaus lemputes. Tos lemputės dažnai padegdavo kasyklų dujas ir iššaukdavo baisius gaisrus kasyklose. Tūkstančiai kasyklų darbininkų kas metai nustodavo gyvybės, užmušti paties sprogimo arba užtrokšdami nuo anglies rūgšties, kuri dideliame kiekyje susidaro degant kasyklų dujoms, arba pagaliau žūdami gaisro liepsnoje. Garsus Anglų XVIII šimtmečio chemikas Humphry Davy aprūpino šitas kasyklų darbininkų lemputes cilindru iš plono misinginio tinklo (žiūr. 39 pieš.). Viršutinis šito cilindro galas turi metalinį vožtuvą, o atdaru apatiniu savo galu užmaunamas ant lempos degto. Su tokia lempa galima dirbti bent kurį laiką ir ten, kur jau susidaro pavojingas dujų mišinys. Bet kas užvis svarbiau — šita lempa įspėja darbininkus apie gresiantį pavojų. Pro tinklo tarpus pakankamai priteka oro, kad lempa galėtų degti. Antra vertus, liepsnos suteikiama tinklui šilima taip greitai pasklinda visame tinklo paviršiuje ir susiteikia didelei aplinkinio oro masei, jog esant tam ore kasyklų dujoms didelėj proporcijoj jos negali įkaisti iki užsidegimo temperatūros. O įsiveržusios į cilindro vidurį kasyklų dujos užsidega ten, del kurios priežasties lempos liepsna darosi didesnė ir tamsiai mėlyna. Bet tas degimas kasyklų dujų cilindro vidury neperziduoda esančioms iš oro cilindro dujoms. Pasirodžius didesnei ir tamsiai mėlynai liepsnai, ypač tai liepsnai drebant, darbininkai žino, kad kasyklose susidarė didesnės masės sprogstamos medžiagos ir kad tolimesnis darbas tokiomis sąlygomis yra pavojingas. Taigi pastebėję tai jie tuojau turi palikti kasyklas. Staiga sujudinus orą liepsna iš cilindro gali persimesti į lauką. Jeigu tokia deganti lempa randasi sprogstamų dujų mišiny, tai iššovę, sakysime, iš pistolieto, mes sukelsime išorinių dujų sprogimą, nes oro banga, sudaryta pistolieto šovinio, permes liepsną per cilindro tinklą. Taip pat įsiveržus didesniam sprogstamų dujų kiekiui į cilindrą, jos gali ten sprogti ir sprogimo liepsna gali išsiveržti iš cilindro tinklo į aplinką ir padegti esančias ten degamas dujas. Vartojimas Davy lempos kasylose sumažino skaičių nelaimingų atsitikimų, bet, deja, ne tiek, kiek galėjo sumažinti, jeigu darbininkai būtų buvę gerai informuoti del šitos lempos reikšmės ir būtų buvę atsargesni, kitaip sakant, pamatę, kad liepsna cilindro vidury darosi didesnė ir tamsesnė, tuojau būtų metę darbą ir palikę kasyklas. Tiktai del priežasties blogos darbininkų informacijos ir Davy lempa visgi dažnai padegdavo kasyklų dujas ir del to ištikdavo nelaimių. Šiandien kasyklose visur vartojama elektros šviesa. Elektros lempos negali padegti degamų dujų mišinio, ir jeigu ir šiandien vis dar dažnai atsitinka sprogimų kasyklose, tai tie sprogimai esti arba del neatsargaus ugnies vartojimo, arba del pripuolamai susidarusios kibirkšties. Bet vis delto reikia konstatuoti, kad pastaraisiais laikais skaičius nelaimingų atsitikimų kasyklose del priežasties degamų dujų sprogimo žymiai sumažėjo mokslo ir ištobulintos technikos dėka, ir jeigu XVIII šimtmetyje kas metai žūdavo tūkstančiai žmonių, tai dabar del nurodytos priežasties kas metai nustoja gyvybės šimtai žmonių.



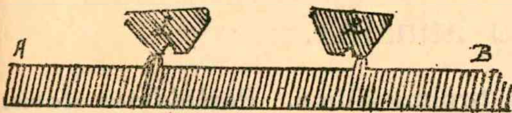
Pieš. 39.

Jeigu paimti ploną platinos vielą, patalpinti ją inde, išsiurbti iš to indo orą ir paleisti per vielą elektros srovę, tai platinos viela stipriai įkaista ir žeria šviesia liepsna. O įleidus į indą orą, jį taip atvėsta, jog nustoja švietusi. Jeigu į indą vieton oro įleisti vandenilį, tai viela dar smarkiau atvėsta. Šitas faktas demonstruoja dujų laidumą, sujungtą su konvekcijos veikimu. Sukurta elektros srovės platinos vieloje šilima oro laidumo ir konvekcijos pagalba taip greitai atimama nuo vielos ir pasklinda aplinkoj, jog vielos temperatūra labai žymiai nupuola žemyn. Šitas temperatūros puolimas yra dar didesnis vandenilio atmosferoje, nes vandenilio laidumas yra žymiai didesnis kaip oro laidumas, ir konvekcijos procesas vandenilio atmosferoje yra žymiai didesnis kaip oro atmosferoje del priežasties žymiai didesnio vandenilio molekulų greitumo (1800 metrų per sekundą), kaip oro molekulų greitumas (500 metrų per sekundą). Iš tai, kas pasakyta, aišku, kad vartojant kaitinimo lempoms metalines

vielas platinos, osmijaus, iridijaus, iš lempų kriaušių turi būti evakuotas oras, nes kitaip metalinės vielos nešvies. Aprašysime čia dar vieną įdomų reiškinį, būtent, Trevelyan'o instrumentą, kuris remiasi nevienodu metalų šilimos laidumu, talpumu ir skėtimusi nuo šilimos. Šitas instrumentas (žiūr. 40 pieš.) susideda iš dviejų dalių: iš trikampės prizmos AC, iš gero šilimos laidininko, pavyzdžiui, vario arba misingio nuo 10 iki 12 cm. ilgio ir nuo 3 iki 4 cm. pločio, ir iš cilindrinio stulpelio, blogesnio šilimos laidininko, bet su didesniu skėtimosi koeficientu ir su mažesniu šilimos talpumu, pavyzdžiui, iš švino. Prizma AC turi ilgą kotą iš blogo laidininko ir iš apačios per visą ilgį išpjautą lataką. Paimsime prizmą už koto, įkišime ją į didesnę liepsną ir įkaitinsime iki temperatūros dvidešimt laipsnių žemesnės, kaip švino tirpimo temperatūra. Įkaitinę uždėsime prizmą apatine dalimi, kur randasi latakas, ant švino cilindro, o kitą galą ant stalo. Sutrenkę kumštimi stalą, mes tuojau išgirsime arba beldimą, arba muzikališką toną, kuris bus augštesnis arba žemesnis, kas pareina nuo temperatūros, iki kurios buvo įkaitinta prizma, ir nuo to, kaip prizma uždėta ant švino cilindro, per vidurį, arčiau prie vieno ar prie kito galo. Aplamai reiškinys čia gan painus, bet dalyko esmę galima suprasti iš 41 piešinio, kur AB reiškia švino paviršių, o LR — misingio prizmos skerspjūvį dviejose įvairiose padėtyse. Misingis yra geras šilimos laidininkas ir todel staiga suteikia švinui kontakto vietoje (žiūr. kairiąją piešinio pusę) tam tikrą šilimos kiekį. Švinas yra žymiai blogesnis šilimos laidininkas, ir todel suteikta jam šilima koncentruojasi kontakto vietoje, nes lėtai persiduoda gilesniems sluogsniams. Antra vertus, švino šilimos talpumas yra žymiai mažesnis kaip misingio, ir todel toje vietoje švino temperatūra staiga žymiai kįla augštyn. Pagaliau švino šilimos skėtimosi koeficientas irgi yra didesnis kaip misingio, ir todel kontakto vietoje staiga iššoka švino poškelis, kuris ir pastumia augštyn prizmą.



Pieš. 40.



Pieš. 41.

Pastumta augštyn prizma krinta žemyn, ir jeigu ji pirmiau lietė šviną savo latako kairiuoju krantu, tai dabar, nukritus ant švino, ji lies šviną dešiniojo latako krantu ir, be to, dar kitoje švino vietoje. Čia atsikartos tas pats reiškinys, vadinasi, mūsų prizma šokinės, svyruos, ir tie jos svyravimai sudarys bangą ore, kuri pasiekus mūsų ausį padarys garso įspūdį. Tie prizmos svyravimai bus tokie greiti ir eis tokiomis mažomis amplitūdomis, jog akimis mes jų nematysime, bet mes girdėsime aiškų žemesnį arba augštesnį toną. Šitas reiškinys tuo įdomus, kad mes čia turime visą eilę energijos kitėjimų: šilima virsta mechanine energija prizmos svyravimo pavidalu, šitie svyravimai virsta bangavimu ore, šis bangavimas, atsimušdamas nuo kambario sienų, suolų, stalų pagaliau vėl virsta šilima, tik jau žemesnės temperatūros.

Williamas Thomson'as, didis Anglų fizikas, remdamasis šilimos laidumo dėsniais mėgino apskaityti žemės atvėsimo laipsnį del priežasties temperatūrų žemės ir erdvės skirtumo. Dieninis ir metinis šilimos svyravimas žemesniuose oro sluogsniuose sudaro šilimos svyravimą paviršutiniuose žemės plutos sluogsniuose. Žinant tų žemės plutos sluogsnių lyginamąją šilimą ir stebint temperatūros svyravimus juose, apskaitoma plutos šilimos laidumas. Tiesioginiai stebėjimai rodo, kad minėti šilimos svyravimai vidutiniškai pasiekia gilumą 10 metrų. Bet kai kuriose žemės vietose plutos sluogsnio storumas, kuris yra šilimos bangavimo įtakoje, esti didesnis kaip 10 metrų, o kitose

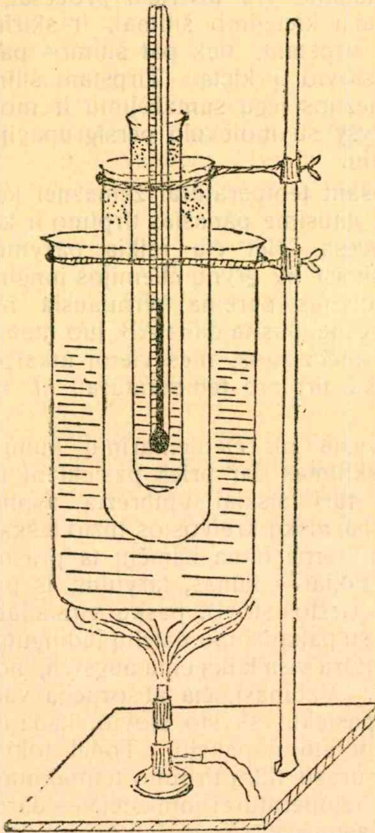
vietose mažesnis. Bet vidutiniškai pradėjus nuo 10 metrų gilumos, skaitant nuo žemės paviršiaus, žemės temperatūra auga gana taisyklingai, būtent: padidėjimui gilumos 30 metr. vidutiniškai atitinka temperatūros pakilimas 1°. Taigi mes čia turime tam tikrą temperatūros gradientą, arba puolimą, einant kuriuo apskaitoma labai augšta žemės vidurio temperatūra. Jeigu pažymėtas čia gradientas pasiliktų tas pats žymiai didesnėse gilumose, tai gilumoje 1 kilometro (1000 metrų) temperatūra būtų bent 33° augštesnė, kaip paviršutinių plutos sluogsnių temperatūra, o gilumoje 1000 kilometrų temperatūra būtų jau bent 3300° augštesnė. Nurodytas čia rezultatas 1 kilometro gilumoje pasitikrino tiesioginiais temperatūrų matavimais giliose anglių kasyklų šachtose, kurių skaičiuje yra ant žemės dvi-trys šachtos vieno kilometro gilumos. Mes nežinome ant žemės tokios medžiagos, kuri būtų dar kietame stovyje prie temperatūros augščiau 3000°. Bet iš to dar neišeina, kad žemės vidurys, arba branduolys, yra skystame stovyje, nes, kaip mes pamatysime kitame skyriuje, kūnų tirpimo temperatūra pareina tarp ko kita ir nuo išorinio spaudimo, būtent: del daugumos kūnų, kurie pereinant iš skysto į kietą stovį traukiasi, tirpimo temperatūra didėja augant išoriniam spaudimui. Taigi turint galvoj milžiniškus spaudimus, kurie veikia gilesnius žemės sluogsnius, reikia manyti, kad tie sluogsniai nežiūrint į kelių tūkstančių laipsnių temperatūrą, randasi kietame stovyje. Turint galvoj nurodytą čia žemės branduolio fizinį stovį, augščiau paminėtą temperatūros puolimą, einant nuo žemės vidurio į paviršių, žemės plutos paviršutinių sluogsnių vidutinę metinę temperatūrą ir žemės plutos lyginamąją šilimą—galima apskaityti greitumas, kuriuo žemė dabar atiduoda savo šilimą erdvei, kitaip sakant, žemės atvėsimo greitumą. O priimant, kad visa žemė kadaisia buvo skystame stovyje, galima apskaityti, kiek praslinko metų nuo tų laikų iki dabarties. W. Thomson'o apskaitymu tas laikotarpis sudaro apie du šimtus milionų metų. Taigi, išeinant iš šilimos laidumo dėsnių, toksai būtų mūsų žemės amžius. Bet mūsų spėjimai apie žemės vidurio fizinį stovį, apie jos temperatūros gradientą, lyginamąją šilimą remiasi stebėjimais tik paviršutiniuose žemės plutos sluogsniuose, daugiausia iki gilumos 1 kilometro. Todel suprantama, kad augščiau nurodytas žemės amžius skiriasi nuo skaičių, prie kurių prieinama remiantis kitais žemės gyvenimo apsireiškimais, kaip sedimentų darymosi greitumu, žemės radioaktyvumu ir kitais. Šiandien manoma, kad nuo tų laikų, kada visa žemė buvo skystame stovyje, iki dabarties praslinko ne mažiau kaip tūkstantis milionų metų.

Fizinio stovio atmaina.

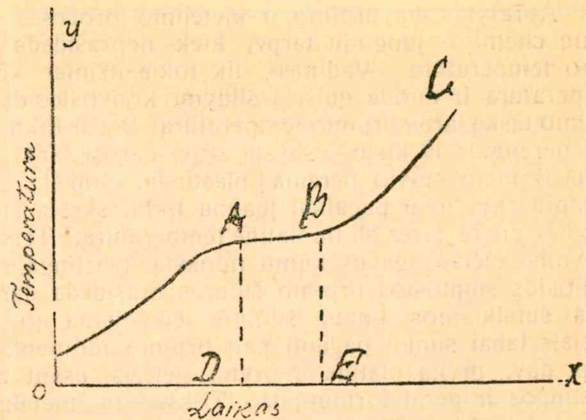
13 §. Tirpimas ir kietėjimas. Slaptoji tirpimo šilima. Peršaldytas stovis. Tūrio kitimai sąryšy su kietų kūnų tirpimu arba skystų kūnų kietėjimu. Ledo savybės. Ledo tirpimo temperatūros puolimas augant spaudimams. Ledo regelacija. Ledo tekėjimas ir ledynai. Ledo kalorimetras (Bunseno kalorimetras). Šaldymo mišiniai.

Įbersime į probirką, arba mėgintuvėlį, gerą žiupsnį hiposulfito (Natriumtiosulfito $Na_2S_2O_3 5H_2O$), vartojamo kaipo fiksažas fotografijoje. Įdėsime šitą probirką į kitą platesnę ir ilgesnę, kamščio pagalba kaip rodo 42 piešinys, ir įmerksime jas abidvi į stiklą su vandeniu. Įkišę jautrų termometrą, tokį, kuris bent duotų galimumo atskaityti dešimtąsias dalis grado, į vidurinę probirką taip, kad termometro rutuliukas, arba kriaušelė, būtų hiposulfito milteliuose, imsime šildyti lempos pagalba stiklą su vandeniu, maišydami vandenį, kad temperatūra jame būtų kuo vienodesnė. Žiūrėsime nuo pat pradžios vidurinės probirkos termometrą, sakysime, kas minutė. Vandens šilima per išorinės probirkos stiklą ir per oro sluogsnį tarp abiejų probirkų suteikiama hiposulfitui, ir jo temperatūra iš pradžios gana žymiai kįla augštyn, paskum kiek pamažiau ir pagaliau, pasiekus tam tikrą laipsnį, pasilieka kurį laiką be atmainos. Nustojus temperatūrai kilti arba ėmus jai kilti labai pamaži, mes pastebėsime, kad dalis hipo-

sulfito druskos vidurinėje probirkoje randasi skystame stovyje. Kad termometro parodymai būtų tikslesni, reikia prieš atskaitant temperatūrą kiekvieną sykį pamaišyti termometro galu kietos ir skystos druskos mišiny. Kiekis skystos druskos darosi vis didesnis, o kiekis kietos druskos mažėja. Pagaliau visa druska pasirodo skystame stovyje. Pakol ištirps paskutinė dalelė druskos, termometras rodys tą pačią temperatūrą. Sutirpus visai druskai termometras vėl ir itin greitai ima kilti augštyn. Ištiesę abscisų ir ordinatų linijas, atidėję ant abscisos laiką minutėmis, o lygiagrečiai ordinatai temperatūras, atatinkančias pažymėtiems ant abscisos laikams, ir sujungę visų tų ordinatų galus mes gausime tirpimo kreivąją liniją, kurią atvaizduoja 43 piešinys. Šita kreivoji susideda iš trijų dalių: OA kįlančios augštyn, AB gulsčios, einančios lygiagrečiai abscisos linijai, ir BC kįlančios augštyn, bet staigiau kaip OA. Dalis OA reiškia kūno šildymą esant jam kietam stovy. Dalis AB reiškia tirpimo procesą, perėjimą iš kieto stovio į skystą stovį, ir dalis BC—kūno šildymą esant jam skystame stovy. Taigi per laikotarpį, kuris atitinka kreivosios daliai AB ir išreiškiamas abscisos atkarpa DE, kūno temperatūra nesimaino nežiūrint į tai, kad jam visą laiką suteikiama šilima. Todel, einant Black'o pavyzdžiu, šita šilima fizikoje ir šiandien vadinasi slaptoji tirpimo šilima. Einant kinetine dujų teorija, temperatūros pakilimas reiškia molekulų greitumo padidėjimą. Taigi, esant kūnui kietame ar skystame stovy, suteikiama jam šilima virsta daugiausia kinetine molekulų energija. Bet didėjant vidutiniam molekulų greitumui auga atsistūmimo jėgos tarp molekulų, kaipo vaisius smarkesnių molekulų susidūrimų, vadinasi, didėja vidutiniai atokumai tarp molekulų ir auga visas paimtojo kūno užimtas tūris. Pagaliau pasiekiamas toks stovis, kada pusiausvyra tarp atsistūmimo jėgų ir kohezijos jėgų darosi nepastovi ir prasideda persigrupavimas molekulų, kad pasiektų vėl pastovios pusiausvyros būvį. Taigi įvykinti tam persigrupavimui, kuris surištas su vidutinio tarp molekulų atokumo pasikeitimu ir jų judingumo padidėjimu, reikia atlikti tam tikras darbas. Slaptoji tirpimo šilima yra eikvojama tam viduriniam darbui atlikti. Atėmus nuo stiklo su vandeniu liepsną vanduo ims vėsti, ir šilima iš skystos druskos ims tekėti į vandenį, vadinasi, ir skysta druska ims vėsti. Termometras eis žemyn, pakol skystime pasirodys kietos dalelės. Joms pasirodžius, termometras kiek laiko rodys nuolatinę temperatūrą. Kada



Pieš. 42.



Pieš. 43.

išnyks paskutinė skystimo dalis, termometras vėl ims pulti žemyn. Pasirodžius pirmai kietai dalelei mes sakome, kad skysta druska ima kietėti. Kietėjimo fazėje druska visą laiką atiduoda šilimą, o tačiau temperatūra nesimaino. Vadinasi, kietėjant pasiliuosuoja šilima, kuri ir kompensuoja druskos vandeniui atiduotą šilimą. Taigi mes kalbame apie slaptąją kietėjimo šilimą. Mes vadiname šitą šilimą slaptąja ta prasme, kad ji neapsireiškia temperatūros puolimu, lygiai kaip ir tirpimo fazėje absorbuojama šilima neapsireiškia temperatūros pakilimu. Jeigu mes šitą kietėjimo procesą išreikšime grafiškai, tai gausime atvėsimo kreivąją, kuri bus panaši į šildymo kreivąją (43 pieš.), tik atvirkščiai orientuotą. Dalis AB bus del abiejų kreivųjų toj pačioj vietoj ir tokio pat didumo, tik vienu atveju ta dalis reprezentuos kieto kūno tirpimą, o kitu atveju skysto kūno kietėjimą. Taigi tirpimas ir kietėjimas yra atvirkšti procesai, ir slaptoji tirpimo šilima didumo atžvilgiu yra lygi slaptajai kietėjimo šilimai, ir skiriasi tik savo ženklu. Kiek šilimos absorbuojama kūnui tirpstant, tiek pat šilimos pasiliuosuoja tam pačiam kūnui pereinant iš skysto stovio į kietą. Tirpstant šilima eikvojama atlikti vidujiniam darbui, surištam su kohezijos jėgų sumažėjimu ir molekulų persigrupavimu, kietėjant tos kohezijos jėgos sąryšy su molekulų persigrupavimu atlieka vidujinį darbą, kuris ir reiškiasi šilimos pavidalu.

Paėmę kitą kokį kietą kūną, pavyzdžiui, ledą, esant temperatūrai žemesnei kaip 0^{0} ir atkartoję su juo augščiau aprašytą eksperimentą, gausime panašias tirpimo ir kietėjimo kreivąsias, vienu žodžiu, turėsime panašų procesą. Bet čia reikia pažymėti, kad nuolatinė tirpimo arba kietėjimo temperatūra reiškiasi tik grynų chemijos junginių tarpe, ir tirpimo arba kietėjimo kreivos dalies AB didumas pareina pirmiausia nuo medžiagos kiekio: juo daugiau bus medžiagos, juo ilgesnė bus ta dalis AB, juo mažiau medžiagos — juo trumpesnė ji bus. Kai būna maža medžiagos, mes vietoj atkarpos AB turime tik lūžį kreivosios toje vietoje, kuri atitinka tirpimo temperatūrai, ir tuo atveju mes kalbame apie tirpimo tašką.

Aprašytas čia tirpimo ir kietėjimo procesas tevyksta tik elementarinių kūnų ir grynų chemijos junginių tarpe, kiek neprasideda jų skilimas dar prieš pasiekiant tirpimo temperatūrą. Vadinasi, tik tokie fiziniai kūnai turi aiškiai apibrėžtą tirpimo temperatūrą ir duoda gulsčią šildymo kreivosios dalį arba aiškų kreivosios lūžio tašką— tirpimo tašką, arba tirpimo temperatūrą. Bet ir tokių kūnų tarpe būna išimčių ta prasme, kad perėjimas iš kieto į skystą stovį darosi labai nuosakiai — kūnas, tarytum, iš pradžios iš kieto stovio pereina į plastingą, minkštą, stovį (tešlos stovį), paskui virsta labai klampiu skysčiu ir pagaliau įgauna tikrai skystą stovį su pakankamu dalelių judingumu. Taigi čia nėra fazės su nuolatine temperatūra. Temperatūra visą laiką eina augštyn, nors ir žymiai lėčiau, įgavus kūnui minkštą, plastingą, stovį. Vadinasi, čia absorpcija vadinamosios slaptosios tirpimo šilimos prasideda dar nepasiekus skysto stovio, kada dar dalis suteikiamos kūnui šilimos eikvojama jo temperatūrai pakelti. Todel tokiais atvejais labai sunku pagauti patį tirpimo momentą ir surasti tikrą tirpimo temperatūrą. Taip, pav., gryna platina ir gryna geležis esant 500^{0} temperatūrai minkštėja — darosi plastingos ir gerai formuojasi. Toksai tų metalų plastingas stovis laikosi gangreit ligi pasiekiant jų tirpimo temperatūras — grynai geležiai 1600^{0}, platinai 1800^{0}. Bet perėjimas tų dviejų metalų iš plastingo, minkšto, stovio į tikrai skystą stovį itin griežtas, taip kad nesunku nustatyti jų tirpimo temperatūras. Bet, sakysime, kvarcas nerodo aiškaus perėjimo taško iš kieto į skystą stovį. 1500^{0} temperatūra kvarcas darosi tiek plastingas ir minkštas, jog iš jo galima ištempti ploniausius siūlus, išpūsti įvairios formos indus, pagaminti įvairaus kalibro vamzdžius. Bet pagauti temperatūra, kuria kvarcas iš plastingo, minkšto, stovio pereina į tikrai skystą stovį, labai sunku. Panašų elgesį mes dažniausiai pastebėsime tokių kūnų tarpe, kurie yra mišiniai dviejų, trijų arba daugiau elementarinių kūnų arba chemijos junginių. Panašūs mišiniai duoda dažnai ant šildymo kreivosios dvi, tris ir daugiau gulsčias arba sudarančias mažą kampą su gulsčia linija atkarpas, arba net du, tris ir daugiau kreivosios lūžių taškus. Šitos gulsčios atkarpos, arba lūžio taškai, rodo, kad atitinkamomis jiems temperatūromis kietėja ir kristalizuojasi ta ar kita mišinio komponenta, tas ar kitas aiškiai apibrėžtas chemijos junginys, likusiai junginio daliai pasiliekant dar skystame stovy.

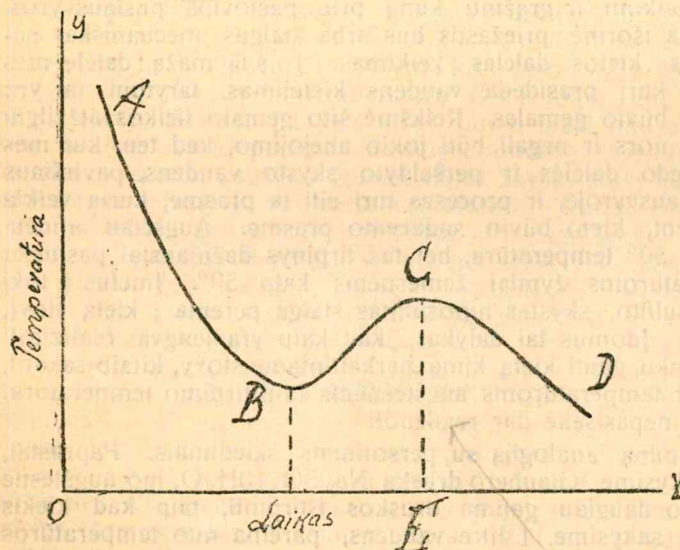
Suprantama, kad temperatūros ribose, kuriose ta ar kita mišinio komponenta kietėja ir kristalizuojasi, mišinys rodo minkšto, plastingo, kūno savybes. Šitos ypatybės aiškiai reiškiasi lydinių tarpe, kurie dažnai rodo ne vieną, bet du, tris ir daugiau tirpimo taškų. Taip pat elgiasi parafinas, kuris dažnai duoda tris gulsčias atkarpas, arba tris lūžio taškus ant šildymo kreivosios. Visa tai reikia turėti galvoj ieškant įvairiems kūnams tirpimo temperatūrų.

Labai dažnai atsitinka, kad kūnai pasilieka skystame stovy esant žymiai žemesnei temperatūrai negu tirpimo temperatūra. Toks stovis fizikoje vadinasi peršaldytas stovis, arba peršaldytas skystis. Taip, gryną distiliuotą vandenį, iš kurio ilgu virinimu pašalintas oras ir kitokios dujos, galima atšaldyti net iki — 20^0 C, pasiliekant jam, esant tai temperatūrai, skystame stovy. Taip pat galima žymiai peršaldyti vandenį iki temperatūros — 10^0 ar — 12^0 užpylus ant jo paviršiaus ploną aliejaus sluogsnį ir atsargiai nuosakiai vėsinant jį, vengiant mechaniškų judėjimų. Bet jeigu taip peršaldytą vandenį staiga ir smarkiai sujudinti, tai dažniausiai žymi dalis vandens, o kai kada net ir visa vandens masė staiga virsta ledu, ir del priežasties pasiliuosavimo slaptosios tirpimo šilimos temperatūra staiga pakįla iki 0^0, kas galima matyti įkišus termometrą į peršaldytą vandenį. Bet mechaniškas sujudinimas ne visuomet duoda šitą efektą. Įmetus gi į tokį peršaldytą vandenį mažiausį trupinėlį ledo, vadinasi, mažą ledo kristaliuką, vanduo tuojau visuomet pereina į kietą stovį, pašokant temperatūrai iki 0^0. Pritaikydami mechanikos terminologiją fiziniam kūnų stoviui, arba būviui, mes kalbame fizikoje apie molekulų, sudarančių kūną, grupavimosi pusiausvyrą, ir vadiname tą pusiausvyrą pastovia, jeigu ji išsilaiko didesniam temperatūrų intervale ir jeigu ji lengvai atsistato, pakeitus ją išorinėms jėgoms veikiant. Taip mes sakome, kad skystas vanduo augščiau 0^0 temperatūros yra pastovios pusiausvyros padėty, lygiai kaip ir kietas vanduo (ledas) žemiau 0^0 temperatūros. Skysto vandens padėtį žemiau 0^0 temperatūros mes vadiname nepastovia pusiausvyra ta prasme kaip ir statikoje, būtent, turėdami galvoj tai, kad labai mažos išorinės jėgos pakanka, kad galima būtų šitą nepastovią pusiausvyrą panaikinti ir grąžinti kūną prie pastovios pusiausvyros. Peršaldytam vandeniui šita maža išorinė priežastis bus arba staigus mechaniškas sujudinimas arba, tikriau, mažos kietos dalelės veikimas. Į šitą mažą dalelę mes žiūrime kaipo į branduolį, apie kurį prasideda vandens kietėjimas, tarytum tai yra tam tikros rūšies kieto vandens būvio gemalas. Reikšmė šito gemalo fizikos atžvilgiu šiandien dar ne visai išaiškinta, nors ir negali būti jokio abejojimo, kad ten, kur mes turime kontaktą tarp kietos ledo dalelės ir peršaldyto skysto vandens, paviršiaus įtempimo jėgos negali būti pusiausvyroje, ir procesas turi eiti ta prasme, kuria veikia paviršiaus jėgų atstojamoji, būtent, kieto būvio sudarymo prasme. Augščiau minėta druska Natriohiposulfitas tirpsta 50^0 temperatūra, bet tas tirpinys dažniausiai pasilieka skystame stovy būvant temperatūroms žymiai žemesnėms kaip 50^0. Įmetus į tokį skystimą mažą kristaliuką hiposulfito, skystas hiposulfitas staiga pereina į kietą stovį, ir temperatūra pašoka ligi 50^0. Įdomus tai dalykas, kad kaip yra lengva realizuoti peršaldytą skysčio stovį, taip sunku gauti kietą kūną perkaitintame stovy, kitaip sakant, turėti kūną kietame stovy būvant temperatūroms augštesnėms kaip tirpimo temperatūra. Toks kietų kūnų stovis iki šiol nepasisekė dar realizuoti.

Peršaldyti skysčiai rodo pilną analogiją su persotintais skiediniais. Paprastai, tirpinant kokią nors druską, sakysime, Glaubero druską $Na_2SO_4 10H_2O$, juo augštesnė bus vandens temperatūra — juo daugiau galima druskos ištirpinti, taip kad kiekis druskos, kuris galima ištirpinti, sakysime, 1 litre vandens, pareina nuo temperatūros ta prasme, kad kiekvienai temperatūrai yra tam tikras maksimumas druskos, kurį galima sutirpinti viename litre vandens. Paėmus daugiau druskos, jos perteklius pasiliks kietame stovy. Toks skiedinys vadinasi sotus, arba prisigėręs, skiedinys, ir jis reprezentuoja pastovią pusiausvyrą tarp druskos ir skiedinio. Jeigu druskos ištirpinta mažiau kaip augščiau paminėtas maksimumas, tai mes sakome, kad skiedinys nesotus. Bet kai kuriais atvejais galima ištirpinti esant tam tikrai temperatūrai daugiau druskos, kaip augščiau nurodytas maksimumas, ir tada mes kalbame apie persotintą skiedinį. Pavyzdžiui, paėmę gerai išvalytą nedidelę stiklo bonką, įbėrę į ją kokį 100 gramų minėtos Glaubero

druskos, užpylę, sakysime, tokiu pat kiekiu vandens, šildydami kolbą ant lempos, mes sutirpinsime visą paimtą druską. Virindami kokį pusvalandį ar daugiau mes žymią dalį paimto vandens pašalinsime ir pagaminsime tuo būdu sotų Glaubero druskos skiedinį, esant temperatūrai augštesnei kaip 100°. Užkišus kolbos kaklą kamščiu iš vatos, kad būtų pašalintas dulkių iš oro įėjimas į skiedinį, ir atėmus lempą mūsų skiedinys atvės iki kambario temperatūros, pasilikdamas skystame stovy. Bet jeigu jis, esant temperatūrai augštesnei kaip 100°, buvo sotus, tai aišku, kad esant kambario temperatūrai jis bus persotintas, vadinasi, bus nepastovios pusiausvyros padėtyje. Tokioje padėtyje skiedinys gali laikytis neapibrėžtai ilgą laiką. Bet ištraukus vatos kamštį dažnai visa skiedinio masė staiga virsta kieta druska, ir įkištas termometras parodo temperatūros pakilimą. Jeigu to neatsitiks, tai dažnai pakanka smarkiai sujudinti skiedinį, kad jis pereitų į kietą stovį. Jeigu ir tai nepadės, tai reikia įmesti mažutį Glaubero druskos kristaliuką. Tuo atveju visuomet mes turėsime druskos kristalizaciją, vadinasi, perėjimą iš skysto į kietą stovį. Taigi kai kada dulkė iš oro, o visuomet tos pačios druskos kristaliukas darosi branduoliu, gemalu, apie kurį plečiasi kristalizacija. Jeigu retkarčiais ir mechaniškas sujudinimas sukelia kristalizaciją, tai, tur būt, dėka to, kad kur nors ant stiklo viršum skysčio paviršiaus mes turime kokią nors kietą dalelę arba net tos pačios druskos kristaliuką. Sujudinus skystimą, dalis jo pasiekia kristaliuką; tuojau toje dalyje prasideda kristalizacija, ir tuo būdu kristalai patenka į skiedinį. Vandeniui arba kitam kuriam junginiui normaliai kietėjant, pasiekus tirpimo temperatūrą, kaipo kietėjimo gemalai veikia mažos kietos dalelės, kurios visuomet randasi nepakankamai išvalytam vandeny arba kitam kokiam junginy, ir apie kurias del priežasties paviršiaus įtempimo jėgų veikimo pirmiausia susidaro kietas stovis.

Pereinant dabar prie metodų, kuriais nustatoma tirpimo arba kietėjimo temperatūra, savaime aišku, kad paprasčiausias būdas tiksliai kietėjimo temperatūrai surasti — tai peršaldyti skystį ir, įmetus į jį mažą tos pačios medžiagos dalelę kietame stovy, pažymėti temperatūrą, iki kurios pakils termometras. Sutirpinę, sakysime, hiposulfitą aparate, atvaizduotam 42 pieš., atėmę lempą seksime atvėsimą iki 40°. Įmetę hiposulfito kristaliuką seksime staigą temperatūros pakilimą ir tolimesnį puolimą. Išreikšdami mūsų eksperimento davinius grafiškai (atidėdami ant abscisos laikus, o ant ordinatų atatinkamas tiems laikams temperatūras), mes gausime kreivąją, kuria atvaizduoja 44 piešinys. Šita kreivoji susideda iš trijų dalių: AB—ataušimo dalis prieš imetant kristalą, BC—staigus temperatūros pakilimas, įmetus kristalą, del priežasties pasiliuosavimo slaptos tirpimo šilimos, ir pagaliau CD—ataušimas pasibaigus kietėjimo procesui. Taigi augščiausioji temperatūra, kurią rodys termometras įmetus druskos kristalą, ir bus paimtos medžiagos tirpimo taškas. Tai bus temperatūra, kuri atitinka mūsų kreivosios taškui C ir išreikšta ordinata CE.

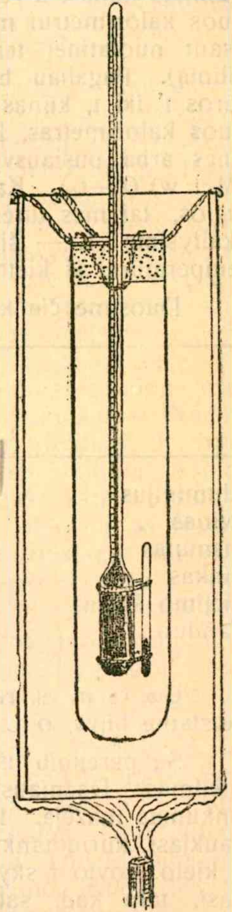


Pieš. 44.

Turint pakankamai medžiagos tirpimo temperatūrai surasti užvis patogiau pasinaudoti prietaisu, atvaizduotu 42 pieš., ir remiantis eksperimento daviniais nubrėžti

šildymo kreivąją, panašią į atvaizduotą 43 piešiny. Gulsčia kreivosios dalis AB atvaizduoja medžiagos perėjimą iš kieto į skystą būvį temperatūrai pasiliekant be atmainos; šią temperatūrą ir reikia laikyti tirpimo temperatūra. Jeigu dalis AB šiek tiek yra palinkusi abscisos atžvilgiu, tai tirpimo temperatūra reikia laikyti aritmetinį vidurį tarp temperatūrų, atitinkančių abscisos taškams D ir E.

Bet dažnai reikia surasti tirpimo temperatūra turint labai mažai medžiagos. Tada reikia pasinaudoti prietaisu, kurį atvaizduoja 45 piešinys. Tokiais atvejais truputys medžiagos imamas trumpame ir mažo kalibro stiklo vamzdely, kuris plonomis vielomis pririšamas prie jautraus ir tikslaus termometro kriaušės, arba rutulio. Termometras su vamzdeliu įleidžiamas kamščio pagalba į bandymų vamzdį, kuris užkabinamas grandies pagalba iš vielos su kabliukais už krantų didesnio išorinio stiklo cilindro, kurio apatinis galas uždengtas tinklu iš plonos vielos. Lempos liepsna veikia iš apačios, taip kad čia bandymų vamzdis šildomas karšta dujų srove. Toliau per bandymų vamzdžio stiklą šilima suteikiama orui ir termometrui su stiklo vamzdeliu. Tokiu būdu atsiekiamas lėtas ir atsargus šildymas, taip kad temperatūra kįla augštyn pamaži. Todel aiškiai galima pamatyti, kada kieta medžiaga vamzdely ima tirpti, arba net kada ji visai sutirpsta. Šituo momentu reikia užrašyti temperatūrą, kurią rodo termometras. Tai ir bus tirpimo temperatūra. Kad būtų padaryta kontrolė galima atimti lempą ir leisti visam aparatui pamaži vėsti. Pamačius, kada skysta medžiaga pasidarė kieta, reikia atskaityti termometras. Tai bus kietėjimo temperatūra, kuri turi būti lygi tirpimo temperatūrai. O jeigu pasirodytų nedidelis skirtumas tarp tų dviejų temperatūrų, tai aritmetinis vidurys tarp jų bus ieškoma tirpimo temperatūra.


Pieš. 45.

Perėjimas iš kieto būvio į skystą yra surištas su absorpcija tam tikro kiekio šilimos, kurią mes vadiname slapta tirpimo šilima. Taip pat perėjimas iš skysto būvio į kietą yra surištas su paliuosavimu tokio pat kiekio šilimos. Taigi charakteristikai tirpimo ir kietėjimo procesų svarbu nustatyti šitą slaptą tirpimo šilimą. Duosime čia pavyzdį, kaip paprastu būdu galima surasti ledo slaptąją tirpimo šilimą. Tegu į kalorimetrą, kuriame randasi 500 gramų vandens 25^0 temperatūra ir kurio vandeninis ekvivalentas yra lygus 12, įmesta 86 gramai sauso ledo nulio laipsnio temperatūra. Uoliai maišant, kad ledas greičiau sutirptų, konstatuojame temperatūrą jam sutirpus. Tegu ta temperatūra bus 10^0. Taigi vandens ir kalorimetro temperatūra nupuolė čia 15^0, vadinasi, vanduo ir kalorimetras atidavė iš viso $512 \times 15 = 7680$ kalorijų. Šita šilima bus išeikvota 86 gramams ledo sutirpinti. Pažymėsime raide L slaptąją ledo tirpimo šilimą, t. y. kalorijų skaičių, kuris reikalingas sutirpinti vienam gramui ledo 0^0 temperatūros. Tad iš viso ledui sutirpinti išeikvota 86 L kalorijų. Be to, dar dalis šilimos išeikvota susidariusio iš ledo 86 gramams vandens temperatūrai pakelti nuo 0^0 iki 10^0, taigi tam reikalui išeikvota 86×10 kalorijų. Iš viso išeikvota $86\,L + 86 . 10 = 86\,(L + 10)$ kalorijų. Šitas kalorijų skaičius turi būti lygus vandens ir kalorimetro atiduotam kalorijų skaičiui. Taigi $86\,(L + 10) = 7680$, iš kur išeina $L = 79{,}5$ kalorijų. Vadinasi, norint iš 1 gr. ledo nulio laipsnio temperatūra padaryti 1 gr. vandens nulio laipsnio temperatūros reikia išeikvoti 79,5 kalorijų.

Aplamai, tirpimo šilima to ar kito kūno nustatoma kalorimetriniu bandymu. Pirmiausia reikia nustatyti kūno lyginamoji šilima kietame ir skystame būvy. Kieto būvio lyginamoji šilima nustatoma paprastu kalorimetriniu bandymu. Skysto būvio lyginamoji šilima užvis patogiau nustatyti ataušimo metodu, paėmus pakankamai skysto kūno ir sekant jo atvėsimą skystame būvy (žiūr. anksčiau duotą aprašymą

skystų kūnų lyginamajai šilimai surasti). Tegu mums dabar reikia surasti slaptoji tirpimo šilima bet kurio kieto kūno. Tegu to kūno masė bus m, jo lyginamoji šilima kietame būvy c_k, skystame būvy c_{sk}, slaptoji tirpimo šilima L. Įkaitinsime šitą kūną iki temperatūros T augščiau kaip kūno tirpimo temperatūra, taip kad kūnas būtų skystame būvy, ir išpilsime jį į kalorimetrą su vandeniu. Maišydami nustatysime galutiną temperatūrą t, padarę visas reikalingas anksčiau aprašytas pataisas radiacijai. Tegu vandens masė kalorimetre bus M ir vandeninis kalorimetro ekvivalentas w. Be to, tegu atskiru eksperimentu nustatyta paimto kūno tirpimo temperatūra bus t'. Paimtas kūnas, atvėsdamas nuo temperatūros T iki savo tirpimo temperatūros t', atiduos kalorimetrui $m\,c_{sk}(T-t')$ kalorijų. Pereidamas iš skysto būvio į kietą būvį esant nuolatinei temperatūrai t' jis dar atiduos m L kalorijų (visą slaptąją tirpimo šilimą). Pagaliau būdamas jau kietame stovy ir dar toliau atvėsdamas nuo temperatūros t' iki t, kūnas atiduos dar $m\,c_k(t'-t)$ kalorijų. Visą tą atiduotą šilimą absorbuos kalorimetras, kurio temperatūra pakils nuo pradžios temperatūros t^0_0 ligi galutinės arba pusiausvyros temperatūros t. Taigi kalorimetro absorbuota šilima bus $(M+w)(t-t_0)$. Kadangi kūno atiduota šilima ir kalorimetro absorbuota šilima yra lygios, tai mes turėsime $m\,[c_{sk}(T-t')+L+c_k(t'-t]=(M+w)(t-t_0)$, iš kur ir apskaitysime L — šilimos kiekį, kuris reikalingas 1 gramui paimto kūno esant t' temperatūrai iš kieto būvio pervesti į skystą būvį.

Duosime čia kelis slaptosios tirpimo šilimos pavyzdžius.

	c_k	c_{sk}	Tankumas kieto	Tankumas skysto	L	Tirpimo temperat.
Aliuminijus	0,22	0,28	2,55	2,43	107	657°
Švinas	0,0345	0,036	11,4	10,4	5,4	327°
Bismutas	0,0325	—	9,8	10	12,6	266°
Cinkas	0,093	0,064	7,2	6,48	28,1	412°
Liejimo špižas	0,11	—	6,5	6,88	30	1200°
Vanduo	0,503	1	0,918	1,000	80	0°

Čia c_k ir c_{sk} reiškia, kaip jau anksčiau pasakyta, lyginamąją šilimą kietame ir skystame būvy, o L reiškia slaptąją tirpimo šilimą.

Su perėjimu iš kieto į skystą būvį ir atbulai visuomet yra surištas kūno tūrio kitėjimas. Dažniausiai pereinant iš kieto į skystą būvį kūnų tūris didėja, vadinasi, jų tankumas mažėja. Bet yra ir tokių kūnų, kurie pereidami iš kieto į skystą stovį traukiasi, kurių tankumas didėja. Taip vanduo pereidamas, būvant temperatūrai 0°, iš kieto stovio į skystą traukiasi, ir atbulai, pereidamas iš skysto stovio į kietą skečiasi, taip kad, sakysime, 1 gr. ledo tūris yra didesnis kaip 1 gr. vandens tūris ir, vadinasi, ledo tankumas yra mažesnis kaip vandens tankumas. Taip pat ir liejimo špižo tūris didėja pereinant iš skysto būvio į kietą būvį. Todel toksai spižas ir užima gražiai visas formos smulkmenas. Pagaliau taip pat elgiasi ir bismutas.

Norint surasti tūrio kitėjimą tirpstant galima pasinaudoti dilatometru arba net ir piknometru. Paimsime bet kurio lengvai tirpstančio kieto kūno svorį w gramų, įmesime jį į piknometrą ir nustatysime vandens tūrį piknometre iki bruožų truputį žemesnės temperatūros kaip kūno tirpimo temperatūra (temperatūrą nustatysime tam tikros tynės pagalba, į kurią įdėtas piknometras). Tegu piknometras su vandeniu esant tai temperatūrai sveria b gramų. Paskui įdėsime piknometrą į tynę, kurios temperatūra yra truputį augštesnė kaip kūno tirpimo temperatūra. Vadinasi, sutirpinsime kūną ir nustatysime vandens tūrį piknometre iki bruožų. Jeigu kūnas tirpdamas skečiasi, tai čia dalis vandens bus išspausta iš piknometro, ir sverdami piknometrą mes gausime a gramų; šis svoris bus mažesnis kaip b. Taigi b — a bus išspausto

vandens masė. Pažymėjus vandens tankumą raide d', del priežasties kūno skėtimosi išspaustas vandens tūris bus $\frac{b-a}{d'}$ cm.³. Pažymėjus paimto kūno kietame būvy tankumą raide d, paimtas kūno tūris bus $\frac{W}{d}$ cm.³. Taigi išsiskėtimas kiekvieno kubinio centimetro kūnui tirpstant bus $l = \frac{b-a}{d'} : \frac{W}{d} = \frac{b-a}{W} \cdot \frac{d}{d'}$. Pavyzdžiui, aluminijaus tas išsiplėtimas bus 0,13 cm.³, švino — 0,09 cm.³. Tokiu pat būdu, žinoma, galima surasti susitraukimą per kubinį centimetrą, jeigu kūnai tirpdami traukiasi. Taip 1 cm.³ ledo pereinant į skystą būvį susitraukia 0,08 cm.³ arba skaitant 1 gramui tas susitraukimas bus 0,09 cm.³, kitaip sakant, 1 gr. ledo užima tūrį 0,09 cm.³ didesnį kaip 1 gr. vandens nulio laipsnio temperatūra.

Visi tokie procesai, kurie yra surišti su tūrio kitėjimu, daugiau ar mažiau pareina nuo išorinio spaudimo, vadinasi, ir tirpimo temperatūra pareina nuo išorinio spaudimo. Į tirpimo temperatūrą reikia žiūrėti kaipo į pusiausvyros temperatūrą tarp skysto ir kieto kūno būvių, arba, kaip šiandien sakoma, tarp skystos ir kietos fazių. Norint iš anksto pasakyti, kaip pareina tirpimo temperatūra nuo išorinio spaudimo, galima pritaikinti ir šituo atveju Le-Chatelier taisyklę, kuri apibrėžia įvairių fazių pusiausvyros sąlygas ir kuri skamba taip: jeigu dvi kūno fazės randasi pusiausvyroje, tai išorinė jėga, kuri stengiasi šitą pusiausvyrą pakeisti, sukelia iš pusės sistemos reakciją ta prasme, kad procesas eina taip, kad kompensuotų išorinės jėgos veikimą. Pavyzdžiui, jeigu kūnas tirpdamas skečiasi, tai didindami išorinį spaudimą mes stengsimės sumažinti tūrį ir kaipo pasekmę turėsime perėjimą dalies skystos fazės į kietą fazę. Vadinasi, procesas eis tūrio sumažėjimo prasme, kitaip sakant, padidinus spaudimą esant tirpimo temperatūrai toksai kūnas ims kietėti. Iš čia išeina, kad jeigu kūnai tirpdami skečiasi, tai didinant išorinį spaudimą jų tirpimo temperatūra kįla, vadinasi, jie tirpsta tada esant augštesnei temperatūrai, ir atbulai, mažinant išorinį spaudimą jų tirpimo temperatūra puola. O tokiais atvejais, kada kūnai tirpdami traukiasi, kaip, pavyzdžiui, ledas, tai didindami išorinį spaudimą mes iššauksime sistemos reakciją ta prasme, kad kieta fazė darysis skysta faze, vadinasi, kūnas tirps, ir atbulai, mažinant spaudimą kūnas kietės. Taigi tirpimo temperatūra kūnų, kurių tūris pereinant iš kieto į skystą stovį mažėja, augs mažinant išorinį spaudimą ir puls žemyn didinant išorinį spaudimą.

Tarp tirpimo temperatūros, slaptosios tirpimo šilimos ir spaudimo, einant termodinamikos dėsniais, apie kuriuos kalbėsime vėliau, galima nustatyti santykius, kurie gali būti išreikšti lygtimi. Paėmę kaipo pavyzdį tokį kūną, kurio tūris didėja pereinant iš kieto į skystą būvį, mes turėsime tirpimo temperatūros padidėjimą padidinę spaudimą. Pažymėsime absolutinę paimto kūno tirpimo temperatūrą raide T, tirpimo temperatūros pakilimą ženklu dt, vieno gramo medžiagos tūrio padidėjimą tirpstant ženklu dv, 1 gramo slaptąją tirpimo šilimą raide L ir spaudimą raide p. Tirpimo temperatūra T yra mastas visos kūnų molekulų kinetinės energijos, kaip jau mes matėme anksčiau, kalbėdami apie šilimą kinetinės teorijos atžvilgiu. Todel tirpimo temperatūros pakilimas dt bus mastas tos molekulų energijos padidėjimo. Kūnui tirpstant mes turime molekulų persigrupavimą, taip sakant, jų atsipalaidavimą nuo ryšių, kuriais jos surištos kietame stovyje ir, be to, dar tūrio padidėjimą, kuris visuomet reiškia tam tikrą darbą, atliktą prieš išorinį spaudimą. Taigi slaptoji tirpimo šilima eikvojama iš vienos pusės molekulų persigrupavimo vidujiniam darbui atlikti, o iš kitos pusės tam išoriniam darbui atlikti, kuris surištas su tūrio padidėjimu. Vadinasi, suma tų abiejų darbų bus lygi slaptajai tirpimo šilimai L, išreikštai ergais. O išorinis darbas del priežasties tūrio padidėjimo bus dv.p irgi išreikštas ergais (išreiškiant išorinį spaudimą p dinomis). Priėmę, kad santykis tarp molekulų kinetinės energijos padidėjimo ir visos jų kinetinės energijos bus toks pat, kaip santykis tarp darbo padidėjimo, didinant išorinį spaudimą, ir viso darbo, reikalingo kūno 1 gramui sutirpinti, mes turėsime $\frac{dt}{T} = \frac{dv.p}{L}$. Imdami p lygų 1 atmosferai ir išreikšdami dinomis turėsime 1.016.000 dinų. O viena mažoji kalorija yra lygi 42.000.000 ergų. Padarę reikalingus

pakeitimus augščiau paduotoje formuloje, mes gausime $\frac{dt}{T}=\frac{dv.1.016.000}{L.42000000}=\frac{dv}{41L}$. Šita lygtis duoda galimumo apskaityti tirpimo temperatūros pakilimą dt, žinant tūrio padidėjimą tirpstant, slaptąją tirpimo šilimą ir absolutinę tirpimo temperatūrą. Paimsime, kaipo pavyzdį, naftaliną. Jo tirpimo temperatūra 80^0, vadinasi, absolutinė tirpimo temperatūra 353^0, slaptoji tirpimo šilima 35,6 kalorijų ir 1 gramo medžiagos tūrio padidėjimas tirpstant 0,15 cm.³. Taigi padidinus išorinį spaudimą 1 atmosfera, naftalino tirpimo temperatūros pakilimas $dt=\frac{353.0,15}{41.35,6}=0,036^0$. Vadinasi, padidinus spaudimą 1 atmosfera reiks pakelti tirpimo temperatūra $0,036^0$ norint sutirpinti naftaliną. Kitaip kalbant, naftalino tirpimo temperatūra pakils 1^0, jeigu išorinis spaudimas padidės 30 atmosferų. Mes paėmėm, kaipo pavyzdį, naftaliną todel, kad jo tūrio padidėjimas tirpstant yra gana žymus. Del kitų kietų kūnų tas tūrio padidėjimas yra žymiai mažesnis ir todel padidintas spaudimo efektas irgi bus žymiai mažesnis.

Paimsime dar kitą pavyzdį, būtent, ledą, kuris tirpdamas traukiasi, taip kad tirpimo išorinis darbas reikia paimti su neigiamu ženklu. Taigi ledui, kaip ir kitiems kūnams, kurie tirpdami traukiasi, mes turėsime tirpimo temperatūros puolimą, didindami išorinį spaudimą. Vadinasi, $dt=-\frac{dv.T}{41L}$. Ledui tirpstant 1 gramo tūrio sumažėjimas bus 0,09 cm.³, absolutinė ledo tirpimo temperatūra 273^0 ir ledo slaptoji tirpimo šilima 80 kalorijų. Taigi $dt=-\frac{0,09.273}{41.80}=-0,0072^0$. Vadinasi, pakėlus išorinį spaudimą 1 atmosfera ledas tirps žemesne temperatūra kaip $0^0-0,0072^0$. Kitaip sakant, norint sutirpinti ledą esant temperatūrai -1^0, reikia pakelti išorinis spaudimas 139 atm. Taigi čia efektas daug mažesnis, kaip naftalinui. Bet nepaisant to mažo efekto, kaip mes tuoj pamatysime, vaisiai nurodytų čia ledo savybių gamtoje yra labai dideli.

Anglas Williams'as pirmutinis 1785 metais pastebėjo, kad, esant dideliems spaudimams, vanduo pasilieka skystame būvy, esant dideliam šalčiui. Williams'as paėmė dvi špižo granatas storumo 5 cm. ir diametro 32,5 cm., pripylė jas vandens ir uždaręs sraigtiniais kamščiais, išstatė jas dideliam šalčiui. Per kiek laiko kamštis iš vienos granatos buvo išmestas laukan ir nukrito 126 metrų atstumo, tuo pačiu laiku iš skylės išsiveržė ledo srovė 20 cm. ilgio. Kita granata sprogo ir aplink plyšį susidarė ledo vainikas 5 cm. platumo. Remdamasis šitais eksperimentais, Williams'as priėjo prie išvados, kad prie tų didelių spaudimų, kurie susidarė granatose del priežasties tūrio padidėjimo vandeniui kietėjant, dalis vandens paliko skystame būvy ir, išlėkus kamščiui, išsiveržė iš skylės pavidalu srovės, kuri tuojau virto ledu del priežasties žymaus spaudimo sumažėjimo.

Eksperimentai su ledo tirpinimu esant dideliems spaudimams buvo atkartoti vėliau Mousson'o, kuris paėmė storą cilindrą iš plieno su kanalu, padėjo ant šito kanalo dugno gabalą misingo, pripylė kanalą vandens ir užkišė jį aklai variniu stumekliu, spausdamas šitą stumeklį sraigtiniu presu esant išorinei temperatūrai apie -18^0. Apvertęs cilindrą dugnu augštyn, atsukęs sraigtą ir išėmęs kamštį Mousson'as pastebėjo, kad visas vanduo cilindro kanale buvo užšalęs, bet buvęs ant dugno misingio gabalas atsidūrė gangreit prie pat skylės. Vadinasi, būvant temperatūrai -18^0 ir dideliam išoriniam spaudimui, bent dalis vandens buvo skystame būvy, nes kitaip apverčiant cilindrą dugnu augštyn misingio gabalas nebūtų galėjęs pakeisti savo padėties. Atsukus preso sraigtą ir sumažinus tokiu būdu išorinį spaudimą, visas vanduo, galima sakyti, akimirksniu virto kietu ledu. Panašūs eksperimentai buvo atkartoti 1854 metais Hopkinso. Jis paėmė žalvario vamzdį storomis sienomis, užšaldė jame vandenį, patalpino viršum ledo nedidelį magnetą ir užpildęs ledu iki krantų užsukė vamzdį sraigtiniu vožtuvu. Įdėjęs iš apačios į vamzdį stumeklį ir smarkiai spausdamas hidraulinio preso pagalba jis, naudodamasis magnetine busole, konstatavo, kad magnetas atsidūrė vamzdžio apačioj. Vadinasi, išoriniu spaudimu ledas buvo sutirpintas.

1880 metais Dewar'as padarė eilę eksperimentų, norėdamas nustatyti ledui tirpimo temperatūras esant įvairiems dideliems išoriniams spaudimams. Jis paėmė storą plieno cilindrą su vidujiniu kanalu, pripylė tą kanalą ledo ir vandens mišinio ir patalpino tame mišiny galą elektrinio termometro. Šitas plieno cilindras buvo sujungtas kanalu su hidrauliniu presu, aprūpintu Bourdon'o manometru. Taigi, hidraulinio preso pagalba Dewar'as galėjo nustatyti labai didelius spaudimus ir atskaityti atitinkančias tiems spaudimams ledo tirpimo temperatūras. Spaudžiant ledo ir vandens mišinį, kurio temperatūra, esant normaliniam 1 atm. spaudimui, yra 0^0, dalis ledo tirps, ir mišinio temperatūra puls žemiau 0^0, pasiekdama statinį stovį kiekvienam išoriniam spaudimui. Šitais eksperimentais Dewar'as konstatavo, kad esant išoriniam spaudimui 700 atm. ledas tirpsta būnant -5^0 C.

O jeigu yra reikalas surasti tirpimo temperatūros pasikeitimą neperdidelio išorinio spaudimo padidėjimui, galima pasinaudoti gyvojo sidabro manometru, kurio viena šaka atdara, o kita šaka pripildyta oru ir uždara (šitas manometras aprašytas aerodinamikos skyriuje). Patalpinus atdaroje šakoje su platesniu cilindru mišinį, sakysime, naftalino kietos ir skystos fazės, aklai uždarysime šitą šaką. Patalpinus ją tynėje tam tikros temperatūros, truputį augštesnės kaip paimtos medžiagos tirpimo temperatūra, dalis kietos fazės sutirps, tūris padidės, ir oras uždaroje šakoje bus atitinkamai suspaustas. Taigi manometras parodys mums spaudimą, prie kurio, esant tynės temperatūrai, kieta ir skysta naftalino fazės bus pusiausvyroje. Vadinasi, tynės temperatūra ir bus tirpimo temperatūra esant manometro rodomam spaudimui. Pakėlę kiek augščiau tynės temperatūrą, mes surasime naują pusiausvyros spaudimą ir t. t., taip kad šituo prietaisu galima nustatyti eilė tirpimo temperatūrų (pusiausvyros temperatūrų), atitinkančių eilei išorinių spaudimų (pusiausvyros spaudimų). Iš to, kas anksčiau pasakyta, savaime suprantama, kad darant panašius bandymus su ledo ir vandens mišiniu reikės tynės temperatūra ne kelti, bet pamaži žeminti.

Paimsime ledo gabalą pavidalu keturkampės pakankamai storos sijos ir padėsime ją abiem galais ant dviejų kedžių. Permesime per vidurį to ledo gabalo plieno vielą ir, sujungę abu vielos galus iš apačios, užkabinsime svorį 20 kilogramų. Per kiek laiko viela pereis per visą ledo storumą ir su svoriu nudribs ant grindų. O ledo gabalas pasiliks sveikas kaip buvęs. Bus matyti tiktai plokštis, per kurią perėjo viela. Čia mes turime reiškinį, kuris vadinasi ledo regelacija ir kuris yra pilnai suprantamas turint galvoj tai, kad padidinus išorinį spaudimą ledas tirpsta, o vanduo pasiliuosavęs nuo to padidinto spaudimo esant tai tirpimo temperatūrai tuojau vėl virsta ledu. Toje vietoje, kur ant ledo guli viela, išorinis spaudimas padidintas, nes vielą veikia pakabintas svoris. Toje vietoje ledas tirpsta, susidaręs skystas vanduo tuojau išsiveržia viršum vielos ir, pasiliuosavęs nuo padidinto spaudimo, tuojau vėl virs tik ledu. Pasiliuosavusi slaptoji tirpimo šilima del priežasties vandens sušalimo tuojau per vielą nuteka, nes viela yra geras šilimos laidininkas. Taigi visą laiką viela spausdama tirpina ledą iš apačios ir slenka per ledą vis giliau ir giliau. Susidaręs vanduo išsiveržęs viršum vielos virsta vėl ledu ir tuo būdu cementuoja (vėl riša) perpjautas vielos ledo dalis. Taigi ir išeina, kad viela pereina per ledą, o ledas pasilieka neperpjautas. Regelaciją, arba staigų perėjimą į kietą būvį, sumažėjus išoriniam spaudimui, rodo ir kiti kūnai, kurie, nelyginant kaip ledas, tirpdami traukiasi. Taip, pavyzdžiui, kalama geležis reiškia regelacijos. Wrightson'as, — patalpinęs cilindrinius gabalus tokios geležies porcelano vamzdyje tokio diametro, kad tie geležies cilindrai kaip tik jame tilpo, — užkaitino juos elektra ligi 1400^0 C, vadinamosios „suvirinimo“ temperatūros. Smarkiai suspaudęs tuos geležies cilindrus hidraulinio preso pagalba (spaudimu iki 80 atm.) jis pastebėjo, kad temperatūra staiga nupuolė žemyn 57^0, ir pašalinęs spaudimą jis konstatavo, kad cilindriniai geležies gabalai suvirinti. Taigi, kalvis, kaldamas kūju baltai įkaitintą geležį, suvirina jos dalis į vieną kompaktinę masę dėka to paties regelacijos proceso, kurio pagalba mes, paėmę gabalą šalto sauso sniego ir gniauždami jį rankose, gauname pagaliau kietą, kaip ledą, sniego kamuolį. Gniaužant ledo kristalai, kurie sudaro sniegą, kontakto vietose tirpsta, susidaręs tuo būdu vanduo užima tarpus tarp kristalų grupių ir pasiliuosavęs

nuo padidinto spaudimo tuojau vėl virsta ledu, rišdamas, arba cementuodamas, ledo kristalus. Lygiai tą patį procesą mes turime Wrightson'o eksperimente.

Taigi dėka regelacijos kietas trapus ledas, veikiant dideliam spaudimui, įgyja plastingo kūno ypatybes, taip kad išoriniu spaudimu galima priduoti ledui bet kurią formą ir, vadinasi, patalpinti tam tikrą ledo tūrį bet kurios formos to paties tūrio inde, nelyginant kaip skystį.

Ant augštų kalnų, viršum vadinamosios sniegų linijos, kuri įvairiose žemės vietose randasi įvairiuose augščiuose, duobose ir slėnyse susitaupo daugybė sniego pavidalu sluogsnių nuo keliasdešimt iki kelių šimtų metrų storumo. Dėka didelio spaudimo tuose sluogsniuose sniegas tirpsta sudarančių jį ledo kristalų kontakto vietose, o susidaręs tuo būdu vanduo išsispaudžia į tarpus, kur jis vėl tuoj užšąla, cementuodamas sudarančius sniegą ledo kristalus. Taip ilgainiui visa milžiniška sniego masė virsta kietu kūnu žirninės struktūros, kuri vadinasi „firnas", norint atskirti jį nuo ledo, kuris turi adatinę struktūrą. Bet tas pats regelacijos procesas, kuris suteikia ledui plastingumą, yra tikra priežastis didelių firno masių tekėjimo tose vietose, kur susitaupęs duobose arba slėnyse firnas randa išėjimą per uolos tarpus ant nuožulnių kalno šonų. Ledas tada teka, nelyginant kaip skystas vanduo upėse, tik mažesniu greitumu. Jeigu upėse vandens greitumas vidutiniškai sudaro nuo 1 iki 2 metrų į sekundą, tai tos ledo upės, arba gletčerai, kalnuose teka greitumais nuo 0,5 iki 1 metro per dieną. Bet Grenlandijos milžiniškų ledynų, arba gletčerų, greitumas siekia ligi 25 metrų per dieną. Visais kitais atžvilgiais ledo srovė gletčeruose panaši į klampaus skysčio srovę: ji didesnė ledo upės vidury negu arčiau prie krantų ir kai kuriose vietose sudaro net tam tikras bangas ir verpetus, ypač ten, kur kalno šonai, sudarantieji srovės dugną, darosi statesni. Arčiau prie dugno ledo temperatūra mažai tesiskiria nuo tirpimo temperatūros esant paprastam spaudimui, nes saulės spindulių sutirpintas ant paviršiaus ledas nuteka srovių ir srovelių pavidalu per plyšius ant dugno ir tokiu būdu palaiko ten temperatūrą arti 0^0. Antra vertus, žemės vidurio šilima irgi veikia ta pačia prasme. Todel tarp ledo masių ir dugno randasi skysto vandens sluogsniai, kurie, nelyginant kaip tepalas, žymiai palengvina kietų masių tekėjimą. Taip milžiniškos plastingo ledo masės teka įtakoje svorio jėgos ir skleidžiasi dažnai gana toli nuo savo ištakos. Taip kitados, vadinamoje ledo gadynėje, nuo augštų Skandinavijos kalnų slinko per dabartinę Baltijos jūrą milžiniškos ledo srovės, kurių šakos ir šakelės ėjo ne tik per mūsų kraštą, bet siekė toli į Pietų ir Pietų-rytų Rusiją. Išbarstyti mūsų laukuose akmens yra tų ledo srovių liekanos. Slinkdamas ledas nešė savo paviršiuj, lygiai kaip ir savo masės vidury, Skandinavijos kalnų laužą, mažesnių ir didesnių akmenų pavidalu, ir nuosakiai tirpdamas paliko tą laužą įvairiose vietose. Antra vertus, ledas slinkdamas trina, kaip malūno girnos, uolą ir atneša su savimi į slėnis dideles mases žvyro ir molio. Iš smulkiausio ledynų molio, nupūsto į Pietus ir Pietų-rytus, susidarė pagrindas Rusijos Pietų ir Pietų-rytų srity juodžemiui.

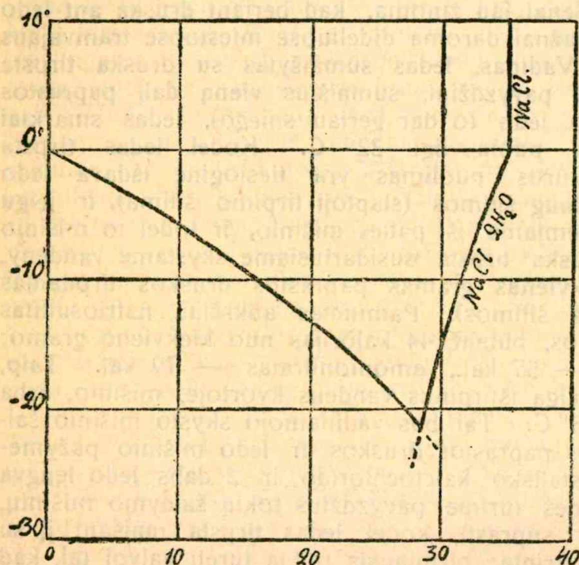
Greta su aprašytu čia ledo plastingumu, turi didelės reikšmės gamtoje ir ledo didelė tirpimo šilima, lygiai kaip ir jo mažesnis negu vandens tankumas, kas jau buvo anksčiau paminėta. Del priežasties tūrio padidėjimo užšąlant vandeniui ledas jūrose, ežeruose ir upėse susidaro paviršiuj ir tiktai tais atvejais, kur yra smarki vandens srovė, mūsų bent geografinėje platumoje vanduo gali užšalti upėje iki pat dugno. Susidaręs paviršiuj upės arba ežero ledo sluogsnis yra blogas šilimos laidininkas ir todel smarkiai trukdo ataušimą ir užšalimą esančio po ledu skysto vandens sluogsnio, kuris, kaip jau anksčiau paaiškinta, turi vidutinę temperatūrą apie 4^0 C., nes iki tai temperatūrai gali atvėsti konvekcijos keliu. O tolimesnis atvėsimas eina laidumo ir radiacijos keliu. Bet laidumas skysto vandens yra mažas, o radiacija darosi žymi tik būnant augštesnėms temperatūroms. Todel mūsų upėse ir ežeruose, užšalus jų paviršiui, gyvi sutvėrimai, kaip žuvys ir kiti, lengvai pergyvena žiemą. Tiktai Sibiro šiaurėje ir aplamai arti ašigalio srities upės ir ežerai užšąla iki dugno. Del priežasties didelės ledo slaptosios tirpimo šilimos, ledo susidarymas yra lėtas procesas, nes kiekvienam kilogramui vandens atvėsus ligi temperatūros 0^0 reikia dar paliuosuoti 80 didžiųjų kalorijų, kad virstų ledu. Taigi pats ledo susidarymo procesas ten, kur

yra didelės vandens masės, paliuosuodamas daug šilimos neduoda oro temperatūrai staiga kristi. Antra vertus, pavasary didelės ledo masės negali staiga sutirpti, kas būtų mums nelaimė, nes toksai staigus sutirpimas vestų prie didelių ir žalingų potvynių. Sušilęs iki 0^0 temperatūros ledas, kad virstų skystu vandeniu, reikalingas dar didelio šilimos kiekio (kiekvienam ledo kilogramui reikia dar suteikti 80 didžiųjų kalorijų), ir todel masės tirpsta nuosakiai, tuo pačiu laiku neprileisdamos prie staigaus perėjimo nuo šalčio prie šilimos. Pažymėsime čia dar, kad ledas yra labai leki medžiaga, labiau net leki kaip kamparas. Taip, esant temperatūrai — 10^0, ledas suteikia kiekvienam kub. metrui oro 2,4 gramų garų, o esant temperatūrai 0^0 — dusyk tiek. Be to, mes visi žinome, kaip lengvai ledas ir sniegas išnyksta nuo kelių—per kelias dienas—didelio šalčio metu.

Sąryšy su perėjimu iš kieto į skystą būvį aprašysime čia žemų temperatūrų pagaminimą šaldančių mišinių pagalba. Senai jau žinoma, kad beriant druską ant ledo arba sniego galima jie sutirpinti, kas dažnai daroma dideliuose miestuose tramvajaus bėgiams paliuosuoti nuo ledo žievės. Vadinas, ledas sumaišytas su druska tirpsta esant žemesnei temperatūrai kaip 0^0 ir, pavyzdžiui, sumaišius vieną dalį paprastos druskos ir tris dalis smulkiai sutrupinto ledo (o dar geriau sniego), ledas smarkiai tirpsta, ir tokio mišinio temperatūra puola ligi—22^0 C. Kodel ledas tirpsta mes tuojau pamatysime. O temperatūros puolimas yra tiesioginė išdava ledo tirpimo. Tirpdamas ledas apsorbuoja daug šilimos (slaptoji tirpimo šilima), ir jeigu ta šilima nesuteikiama iš oro, tai ji semiama iš paties mišinio, ir todel to mišinio temperatūra turi kristi. Be to dar, druska tirpsta susidariusiame skystame vandeny, ir tas procesas absorbuoja šilimą (kiekvienas gramas paprastos druskos tirpdamas vandeny absorbuoja gangreit 21 kaloriją šilimos). Paminėtas anksčiau natriosulfitas absorbuoja tirpdamas dar daugiau šilimos, būtent, 44 kalorijas nuo kiekvieno gramo; natriosulfatas, arba Glaubero druska, — 57 kal., amonionitratas — 79 kal. Taip, paėmus 0,5 svaro amonionitrato ir staiga ištirpinus vandens kvortoje, mišinio, arba skiedinio, temperatūra nukris iki — 15^0 C. Tai bus vadinamojo skysto mišinio šaldymo pavyzdys. Be augščiau nurodytos paprastos druskos ir ledo mišinio pažymėsime čia dar, kad sumaišius 3 dalis kristališko kalciochlorido ir 2 dalis ledo lengva pasiekti temperatūrą ligi — 55^0. Čia mes turime pavyzdžius tokių šaldymo mišinių, kuriuose dalyvauja kietas ledas. Norint suprasti, kodel ledas tirpsta maišant jį su druska ir kodel to mišinio temperatūra krinta, pirmiausia reikia turėti galvoj tai, kad bet kurio kieto kūno tirpimo temperatūra, arba tirpimo taškas, yra tokia temperatūra, esant kuriai kietas kūno būvis ir jo skystas būvis randasi pusiausvyroj. Pusiausvyros sąvoka paimta čia iš mechanikos ir ją reikia suprasti taip, kad kieto ir skysto būvio mišinio temperatūra nesimaino, didinant arba mažinant tam tikrose ribose kiekį kieto arba skysto būvio. Aplamai fiziniai kūnai gali būti ne tik kietame, skystame ir dujiškame būvy, bet ir kitose dar modifikacijose. Pavyzdžiui, siera gali būti kietame, skystame ir dujiškame būviuose, o kietas būvis esti trijose modifikacijose, būtent, monokliniškų ir rombiškų kristalų pavidalu ir kaipo amorfinė siera. Esant įvairioms to paties kūno modifikacijoms sykiu, jos galima atskirti mechaniškai viena nuo kitos. Taigi fizikoje priimta vadinti fazėmis tokius homogeninius fizinio kūno būvius, kurie atskiriami vienas nuo kito mechaniškai. Einant šita terminologija tirpimo tašku vadinasi tokia temperatūra, esant kuriai skysta ir kieta kūno fazės randasi pusiausvyroje augščiau nurodyta prasme, būtent, kad didinimas arba mažinimas kietos ar skystos fazės nesukelia temperatūros pasikeitimo.

Įsivaizduokime dabar sau silpną paprastos druskos skiedinį vandeny 0^0 temperatūra. Atimdami šilimą, vadinasi, žeminant temperatūrą, mes pastebėsime, kad tam skiediny ima darytis ledas temperatūra, žemesne kaip 0^0. Taigi tokiomis sąlygomis vandens kietėjimo temperatūra, kitaip sakant, ledo tirpimo taškas, bus žemiau kaip 0^0, ir mes kalbame apie vandens kietėjimo taško, arba ledo tirpimo taško, depresiją. Bet atsiskyrus tam tikram ledo kiekiui, skiedinys darosi stipresnis, jo koncentracija darosi didesnė, ir tolimesnis ledo atsiskyrimas sustoja, sustabdžius šilimos atėmimą. Tęsiant gi šilimos atėmimą, ledo darosi vis daugiau ir daugiau, ir mišinio temperatūra

krinta vis žemiau ir žemiau. Taigi ir šituo atveju mes kalbame apie pusiausvyrą tarp ledo (kietos fazės) ir skiedinio (skystos fazės). Ta pusiausvyra pareina nuo skiedinio koncentracijos: juo stipresnis skiedinys — juo žemesnė temperatūra, esant kuriai iš to skiedinio atsiskiria ledas, vadinasi, juo žemesnė temperatūra, esant kuriai ledas ir skiedinys gali būti pusiausvyroje. Šituos santykius mes galime išreikšti grafiškai (žiūr. 46 pieš.). Ant gulsčios abscisos linijos atidėsime skiedinio koncentracijas, skaitydami druskos nuošimčiais vandens atžvilgiu (imant 100-tui dalių vandens tiek ir tiek druskos), o ant ordinatos atidėsime temperatūras augščiau ir žemiau nulio. Suradę, sakysime, bandymo keliu prie kurios temperatūros ima darytis ledas skiediny su 5, 10, 15, 20, 25 ir t. t. nuošimčių druskos, mes atidėsime tas temperatūras — 2,5^0, — 6^0, — 10^0, — 13^0 ir t. t. tam tikro ilgio linijomis lygiagrečiai ordinatai.



Pieš. 46.

Sujungę šitų ordinatų galus, mes gausime vadinamąją tirpimo taško depresijos kreivąją, arba, kitaip sakant, priklausomybės, arba pareinõs, kreivąją tarp kietėjimo temperatūros (ledo susidarymo temperatūros) ir skiedinio koncentracijos, kuri rodo, kad kiekvienai koncentracijai priklauso tam tikra ledo susidarymo temperatūra, žemesnė kaip 0^0 (0^0 yra pusiausvyros temperatūra tarp ledo ir gryno vandens). Taigi paėmus silpną druskos skiedinį 0^0 temperatūra ir vėsinant jį, temperatūra ims eiti žemyn, kiek žemiau kaip 0^0 pasirodys ledas, skiedinio koncentracija padidės, ir, vadinasi, prisieis vėl pažeminti temperatūra, kad susidarytų daugiau ledo ir t. t. Aplamai vėsinant tokį skiedinį žemiau kaip 0^0 visą laiką darysis ledas, koncentracija skiedinio visą laiką didės, ir temperatūra visą laiką puls žemyn, ką ir atvaizduoja kreivoji linija iš kairės pusės 46 piešinio. Jeigu tam tikrame vandens kiekyje galima būtų sutirpinti neapibrėžtą druskos kiekį, tai šitas procesas neturėtų ribų, vadinasi, temperatūra eitų žemyn neribotai. Bet mes žinome, kad tam tikrame vandens kiekyje duota temperatura galima ištirpinti tik apibrėžtą druskos kiekį, pavyzdžiui, 0^0 temperatūra — 36 %; šis kiekis del druskos labai mažai mainosi su temperatūra, kaip tai galima matyti iš 46 piešinio diagramos. Taigi šitas ribotas druskos tirpingumas vandeny nustato kietėjimo temperatūros puolimo ribą. Norint surasti šitą ribą, reikia paimti dabar sotų druskos skiedinį, esant temperatūrai kiek augštesnei kaip 0^0 (vadinasi, tokį skiedinį, kuriame daugiau druskos nebetirpsta, druskai tai bus 36 %). Jeigu mes vėsindami tokį sotų skiedinį pasieksime temperatūrą, žemesnę kaip 0^0, tai tokiai temperatūrai tas skiedinys jau bus persotintas ir, vadinasi, dalis druskos turės išsiskirti kietų kristalų pavidalu, kad atsistatytų pusiausvyra. Vadinasi, mes turėsime dabar sotų druskos skiedinį esant žemesnei temperatūrai ir todel silpnesnės koncentracijos. Vėsindami toliau vėl pasieksime persotintą stovį, vėl atsiskirs dalis kietos druskos ir pasiliks sotus skiedinys esant dar žemesnei temperatūrai ir dar silpnesnės koncentracijos. Ir šitam procesui yra ribos, ir aišku, kad ir šitas procesas veda pagaliau prie tokios pat skiedinio koncentracijos, prie kurios veda silpno skiedinio vėsinimas. Mes ir šitam procesui kiekvienai skiedinio koncentracijai galime nustatyti tam tikrą temperatūrą, esant kuriai dalis druskos atsiskiria kaipo kieta fazė. Atidėdami koncentracijas ant abscisos, o temperatūras, esant kurioms atsiskiria kieta druska, ant ordinatos, mes gausime

kreivą liniją, atvaizduotą iš dešinės pusės 46 piešinio. Šita kreivoji linija yra ne kas kita, kaip paprasta druskos tirpingumo kreivoji įvairioms temperatūroms (vadinasi, ta kreivoji rodo, kaip mainosi druskos tirpingumas vandeny mainantis temperatūrai). Kadangi abidvi kreivosios iš priešingos pusės artinasi viena prie kitos, tai aišku, kad ten, kur tos kreivosios susikerta, bus ta skiedinio koncentracija, kuri gali būti pasiekta vėsinant silpną arba sotų druskos skiedinį. Taigi viena iš tų kreivųjų, kairioji, duoda temperatūras ir koncentracijas, esant kurioms ledas gali būti pusiausvyroje su skiediniu, o kita kreivoji, dešinioji, duoda temperatūras ir koncentracijas, esant kurioms druska gali būti pusiausvyroje su skiediniu. Tad aišku, kad abiejų kreivųjų susikirtimo taškas duos mums temperatūrą ir skiedinio koncentraciją, esant kurioms gali būti pusiausvyroje kietas ledas, kieta druska ir skiedinys, vadinasi, trys fazės. Iš diagramos 46 piešinio matyti, kad tokia pusiausvyra gali būti tik esant temperatūrai -22^0 ir skiedinio koncentracijai 29 %. Pažiūrėsime dabar, kas bus, jeigu mes paėmę silpną skiedinį ir vėsindami jį, pasiekus temperatūrą -22^0, vėsinsime jį toliau. Kadangi šitame taške mes turėsime sotų skiedinį (nes šitas taškas priklauso ir tirpingumo kreivajai), tai stengiantis pažeminti temperatūrą žemiau kaip šitas taškas, mes pasieksime štai kokią padėtį: tuo pačiu laiku iš skiedinio atsiskirs ir kietas ledas ir kieta druska tokių kiekybinių santykių, kokių vanduo ir druska sudaro sotų skiedinį esant temperatūrai -22^0, o temperatūra pasiliks be atmainos. Dalykas tas, kad jeigu vėsinant toliau vėl atsiskirs šiek tiek ledo, tai mūsų skiedinys pasidarys jau persotintas ir todel atsiskirs ir atitinkamas kiekis kietos druskos, kad atsistatytų pusiausvyrą. Taigi pasiekę šitą tašką ir vėsindami toliau, mes nebepajėgsime numušti temperatūros, nes visą laiką darysis ledas ir kieta druska tokia proporcija, kuria vanduo ir druska sudaro skiedinį ir, vadinasi, skiedinio koncentracija nebesimainys, ir tas procesas eis patol, pakol visas skiedinio vanduo taps ledu ir visa jo druska pereis į kietą būvį. Taigi toksai skiedinys turės nuolatinę kietėjimo temperatūrą, nelyginant kaip bet koks chemijos junginys. Todel buvo manoma, kad šituo atveju pereina iš skiedinio į kietą formą tam tikras chemijos junginys vandens ir druskos, ir šitas junginys buvo pavadintas kriohidratu. Šiandien žinoma, kad čia druska pavidalu kriohidrato ($NaCl.2H_2O$) ir ledas darosi nepriklausomai viens nuo kito, o ne kaip tam tikras chemijos junginys. Bet aplamai tokie kriohidriniai skiediniai elgiasi kaip chemiškai gryni skysčiai ir turi nuolatinę kietėjimo temperatūrą. Analogiškai elgiasi kai kurie metalų lydiniai, būtent, iš skysto būvio pereina į kietą būvį abudu metalai ta proporcija, kuria jie randasi skystame stovy. Vadinasi, tokie metalų lydiniai, arba mišiniai, turi irgi nuolatinę kietėjimo temperatūrą, nelyginant kaip chemiški junginiai. Tokius metalų lydinius, arba mišinius, vadina eutektiniais, ir jų kietėjimo temperatūra vadinasi eutektikos taškas.

Dabar mes suprasime, kodel ledas, sumaišytas su druska, tirpsta, o tirpdamas absorbuoja slaptąją tirpimo šilimą. Jeigu tas tirpimas eina taip greitai, kad einanti iš oro šilima nespėja kompensuoti absorbuotos tirpimo šilimos, kuri absorbuojama iš paties mišinio, tai mišinio temperatūra eina žemyn, ir mes turime vadinamąjį šaldymo mišinį. Paimsime, pavyzdžiui, smulkiai sutrintą ledą, arba sniegą, 0^0 temperatūra ir sumaišysime su 5 % paimto ledo smulkiai sutrintos druskos. Iš tai, kas anksčiau pasakyta, aišku, kad ledas ir druska negali būti pusiausvyroje 0^0 temperatūra. Ledo ir druskos kristalų kontaktuose ledas tirps ir pasidarys druskos skiedinys. Iš 46 piešinio diagramos aišku, kad tam tikros koncentracijos druskos skiedinys gali būti pusiausvyroje su kietu ledu tik esant tam tikrai temperatūrai, žemesnei kaip 0^0. Vadinasi, ledas tirps toliau, tirps daugiau druskos, temperatūra eis žemyn pakol mes pasieksime koncentracijos 5 % ir pakol temperatūra nupuls žemyn iki -4^0 (tai bus kietėjimo temperatūra skiedinio 5 %, vadinasi, temperatūra, iš kurios šitam skiediny ima darytis kietas ledas, kas matyti iš 46 pieš. diagramos). Jeigu mes dabar šitam skiediniui pridėsime ledo, tai tas ledas pasiliks be atmainos ir, vadinasi, bus pusiausvyroje su skiediniu. Jeigu mes su ledu sumaišysime ne 5 % druskos, o, sakysime, 20 %, tai ledas ištirps, susidarys nurodytas koncentracijos skiedinys, o temperatūra nupuls iki -14^0 (žiūr. 46 pieš. tirpimo kreivąją iš kairės pusės). Paėmus daugiau

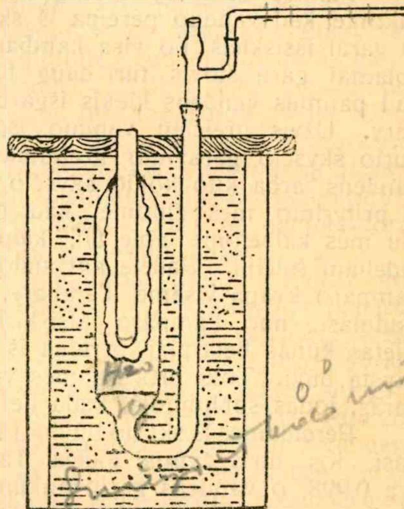
ledo prie tos pat temperatūros —14° jis bus pusiausvyroje su skiediniu. Sumaišius gi 29% druskos, paimto ledo kiekio atžvilgiu, vadinasi, apytikriai paėmus 3 dalis ledo ir 1 dalį druskos, visas ledas sutirps, ir temperatūra nupuls iki—22°, vadinasi, pasieks kriohidriškąjį tašką. Pridedant dabar, esant tai pačiai temperatūrai, ledo arba kietos druskos niekas nepasikeis. Vėsinant toliau nepasiseks nukrėsti temperatūros, nes druska ir ledas pereis į kietą stovį ta proporcija, kuria jie sudaro kriohidriškąjį skiedinį. Taigi—22° bus žemiausioji temperatūra, kurią galima atsiekti maišant ledą ir druską esant temperatūrai augštesnei kaip kriohidriškasai taškas. Vadinasi, turėdami ledą temperatūra, žemesne kaip —22°, ir maišydami jį su druska, mes nebegalėsime sutirpinti nė truputėlio ledo. Šitas ledo tirpimo temperatūros puolimo procesas galimas tik būvant temperatūrai augštesnei kaip kriohidriškasai taškas.

Su panašiais santykiais mes susitiksime ir maišydami kitą kurią druską su ledu, jeigu tik galėsime pasiekti kriohidriškąjį tašką. Skirtumas tebus tik koncentracijų ir vandens kietėjimo temperatūrų.

Pagaliau pabrėšime čia dar savaime aiškų dalyką, turint galvoj visa tai, kas anksčiau pasakyta, būtent, kad jūroje ir okeane šiaurėje, arba antarktinėje zonoje, gali susidaryti ledas tik esant temperatūroms žymiai žemesnėms kaip 0°, ir kad iš susidariusio tokiu būdu ledo galima gauti visiškai grynas vanduo be jokios druskos.

Įsivaizduokime sau ledo didesnį gabalą su išskaptuota (išgręžta) duobe ir su ledo dangčiu, kuriuo galima tą duobę uždengti. Paimsime kokio nors kieto kūno masę m ir įkaitinę tą masę iki t°, įmesime ją į ledo duobę, ištrynę ją prieš įmesdami sausa kempine. Įmetę uždėsime dangtį. Įmestas kūnas atiduos šilimą ir atvės iki 0°. Tegu jo lyginamoji šilima bus c. Tada jo atiduota šilima bus mct. Šita šilima sutirpins, sakysime, p gr. ledo, ir šis procesas absorbuos 80.p kalorijų. Taigi mct = = 80 p, iš kur $c = \frac{80\ p}{mt}$. Surasti sutirpinto ledo kiekį mes galime pagalba atsvertos sausos kempinės, surinkę visą susidariusį tirpstant ledui vandenį ledo duobėje ir atsvėrę tą vandenį su kempine. Tuo būdu ledo gabalu galima naudotis kaipo kalorimetru. Tokio kalorimetro patogumas yra tas, kad čia pusiausvyros, arba galutinė, temperatūra visuomet bus 0°. Taigi dar XVIII šimtmečio pabaigoje Lavoisier'as ir Laplace'as padirbo tokį ledo kalorimetrą, kuriam suteiktas vėstančio kūno šilimos kiekis galima buvo apskaityti iš vandens masės, susidariusios tam tikram ledo kiekiui sutirpus. Bet užvis tikslesnę ir patogesnę formą šitam kalorimetrui suteikė XIX šimtmečio vidury Heidelbergo universiteto chemijos profesorius Bunsenas, kuris suteiktai ledui šilimai apskaityti padėjo pagrindan tūrio mažėjimą ledui tirpstant. Vienas gramas ledo nulio laipsnio temperatūra užima 1,0908 cm.³ erdvės, o vienas gramas vandens esant tai pačiai temperatūrai užima mažesnį tūrį, būtent: 1,0001 cm.³, taip kad sutirpus 1 gr. ledo kontrakcija, arba tūrio sumažėjimas, bus 0,0907 cm.³. Taigi, kad tūris sumažėtų 1 cm.³ reikia, kad sutirptų $\frac{1}{0{,}0907} = 11{,}03$ gr. ledo. Tegu m gramų bet kurio kūno, turinčio temperatūrą t°, atvėsus iki 0° sutirpins v cm.³ ledo. Jeigu lyginamoji kūno šilima bus c, tai mes turėsime mct = 11,03.v.80, iš kur $c = \frac{v}{m}.\frac{11{,}03.80}{t} = \frac{v}{m}.\frac{882}{t}$. Taigi matuodami susitraukimą ledui tirpstant, mes galime apskaityti suteiktą ledui šilimą ir tuo būdu surasti lyginamąją bet kūrio kūno šilimą. 47 pieš. atvaizduoja Bunseno ledo kalorimetrą. Mes čia turime susisiekimo indą iš stiklo, kurio viena šaka turi didesnio cilindro pavidalą, o kita šaka užlenkto augštyn vamzdžio pavidalą. Į cilindrinę dalį įlydytas bandymų vamzdis. Likusioji cilindro dalis pripildoma gerai išvirinto (kad pašalintų orą) distiluoto vandens, taip kad vanduo būtų žemėliau vamzdžio galo. O apatinė dalis cilindro, lygiai kaip ir užlenktas augštyn vamzdis, pripilami gryno ir sauso gyvojo sidabro. Į šito vamzdžio skylę įdedamas prišlifuotu galu trumpesnis stiklo vamzdis su šaka, į kurią irgi gerai prišlifuotu užlenktu žemyn galu įdedamas gulsčiai kapilarinis vamzdis, padalintas į milimetrus. Šitaip paruoštas Bunseno kalorimetras įdedamas, kaip rodo 47 piešinys, į didesnį

metalinį indą su dvigubomis sienomis, pripiltą smulkaus ledo arba dar geriau sniego ir vandens mišinio. Tarpas tarp dvigubų sienų irgi galima užpildyti sniego ir vandens mišiniu. Iš piešinio matyti, kad kalorimetras laikosi mediniuose spaustuvuose, kurie uždėti ant išorinio indo krantų. Vadinasi, kalorimetras randasi tarpe, kurio temperatūra yra tirpstančio ledo, arba sniego, temperatūra, t. y. 0^0. Taigi vandens ir gyvojo sidabro temperatūra kalorimetre irgi bus 0^0. Į viršutinį vamzdį su atšaka pilama pamaži gyvojo sidabro tiek, kad jis įeitų į kapilarą. Į mėgintuvėlį (bandymų vamzdį) reikia įstumti ant jos dugno gabaliuką vatos. Dabar reikia sudaryti aplink bandymų vamzdį ledo sluogsnį. Tai galima atsiekti šiuo būdu: reikia padaryti iš ledo ir druskos šaldymo mišinį esant temperatūrai —10^0 ar —15^0 ir šitame mišiny stiklinėje arba didesniame bandymų vamzdyje atvėsinti spiritas. Atvėsintas spiritas pilamas į bandymų vamzdį, sifono pagalba nuleidžiamas, pamainomas vėl atvėsintu spiritu, vėl nuleidžiamas ir t. t. pakol apie bandymų vamzdį susidarys pakankamo storumo ledo sluogsnis, kaip rodo piešinys. Pakanka atkartoti tokį spirito pylimą ir nuleidimą 3, 4 sykius, kad susidarytų toksai ledo sluogsnis. Pradėjus darytis ledui, tūris didėja ir, kaipo vaisius to, dalis gyvojo sidabro išspaudžiama ir pereina į kapilarą, taip kad darantis vis daugiau ledo, gyvojo sidabro siūlo galas kapilare slenka vis toliau ir toliau. Nustojus vėsinti bandymų vamzdį, nustoja ir gyvojo sidabro siūlas slinkti kapilare. Savaime suprantama, kad sudarytas apie bandymų vamzdį ledo sluogsnis turi temperatūrą 0^0 (reikia tik daboti, kad ledo sluogsnis būtų neperdidelis, kad jis nepasiektų cilindro šonų ir gyvojo sidabro, nes palikus dalį vandens skystame būvy surišti su tūrio kitėjimais spaudimų kitėjimai geriau persiduos gyvajam sidabrui). Įpilsime dabar į bandymų vamzdį iki pusės arba iki jo trečdalio atvėsinto iki 0^0 distiliuoto vandens ir nustatysime vieno skalės padalinimo kalorinę vertę, kitaip sakant, tų kalorijų skaičių, kuris reikia suteikti ledui, kad susitraukimas būtų lygus 1 skalės padalinimui. Pažymėsime šitą kalorijų skaičių raide k. Paimsime lengvą mažiuką stiklo rutuliuką nuo 0,5 iki 1 $cm.^3$ tūrio, apsunkinsime jį pririšę prie jo metalo skrituliuką, atsversime, pripildysime distiliuoto vandens ir vėl atsversime. Mes tuo būdu surasime vandens masę m. Žinodami stiklo rutuliuko masę ir jo lyginamąją šilimą, lygiai kaip pririšto metalo skrituliuko masę ir jo lyginamąją šilimą, mes apskaitysime jų vandeninį ekvivalentą w. Pašildysime dabar šitą rutuliuką su vandeniu ir metalu iki temperatūros t' ir įmesime į kalorimetro bandymų vamzdį. Rutuliukas su metalu ir vandeniu, atvėsdamas iki 0^0, atiduos $(m+w)\,t'$ kal., kurios sutirpins tam tikrą ledo kiekį apie bandymų vamzdį. Tūris atitinkamai sumažės, ir gyvasai sidabras kapilare pasitrauks atgal, sakysime, per e skalės padalinimų. Taigi mes turėsime $(m+w)\,t' = ek$, iš kur $k = \frac{(m+w)\,t'}{e}$.



Pieš. 47.

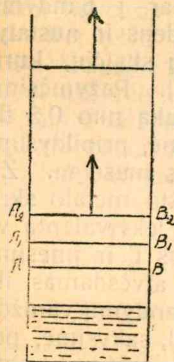
Žinodami k ir turėdami paruoštą augščiau aprašytu būdu aparatą, mes galime dabar atlikti visą eilę eksperimentų lyginamajai šilimai surasti greitu ir patogiu būdu visai eilei kūnų. Pašildžius kokio nors paimto kūno masę m iki temperatūros t^0 ir įmetus jį į kalorimetro bandymų vamzdį, mes suteiksime ledui apie vamzdį mct kalorijų (nes čia kūnas visuomet atvės iki temperatūros 0^0). Gyvasai sidabras kapilare pasitrauks, sakysime, per E padalinimų, kas reiškia Ek suteiktų kalorijų. Taigi $mct = Ek$, iš kur $c = \frac{Ek}{mt}$.

Švariai ir stropiai dirbant, Bunseno kalorimetras reikia pripažinti kaipo patogiausias ir tiksliausias kalorimetras.

14 §. Garavimas ir kondensacija. Slaptoji garavimo šilima. Perkaitinti ir sotūs garai. Garavimas kinėtinės teorijos atžvilgiu. Krizio temperatūra ir krizio spaudimas. Metodai sočių garų spaudimui nustatyti. Sočių garų spaudimo kreivoji. Persotinti garai. Garų kondensacijos branduoliai, arba gemalai: dulkės, α-dalelės, elektronai. Drėgnumas absolutinis ir relatyvus. Metodai drėgnumui nustatyti.

Palikus kambary atdarą indą su vandeniu, vanduo per kurį laiką išnyks. Mes sakome, kad vanduo pereina iš skysto į garų stovį, ir šitą procesą vadiname garavimu. O garai išsiskleis po visą kambarį. Vandens garai taip pat nematomi kaip oras, ir aplamai garų stovis turi daug bendra su dujišku stoviu. Iš prityrimo mes žinome, kad paimtas vandens kiekis išgaruos juo greičiau, juo mažiau bus vandens garų kambary. Užvis greičiau vanduo išgaruos tuštumoje. Be to, vandens ir aplamai bet kurio skysčio garavimo greitumas žymiai pareina nuo temperatūros: juo augštesnė vandens arba kito kokio skysčio temperatūra, juo greičiau eina garavimas. Taip pat iš prityrimo mes žinome, kad garuoja ne tik skysčiai, bet ir kieti kūnai. Anksčiau jau mes kalbėjome apie tai, kaip smarkiai garuoja ledas, arba sniegas, esant net dideliam šalčiui. Padėję ant stalo kambary kamparo gabaliuką, labai greitai pajusime kamparo kvapą visame kambary, o per kurį laiką kamparo gabaliukas irgi išnyks. Vadinasi, nuo kamparo atsiskiria mažos dalelės ir išsiskleidžia po visą kambarį. Kietas kūnas betarpiai pereina iš kieto būvio į garų būvį, aplenkdamas, taip sakant, skystą būvį. Tokį procesą mes vadiname sublimacija. Mes sakome, kad ledas, kamparas, jodas sublimuoja, kada jie betarpiai iš kieto būvio pereina į garų būvį.

Pereidamas iš skysto būvio į garų būvį medžiagos tankumas žymiai mažėja, vadinasi, jos tūris žymiai didėja. Taip, pav., vandens tankumas esant temperatūrai 20^0 yra 0,998, o vandens garų tankumas esant tai pačiai temperatūrai yra 0,00077. Vadinasi, pereinant į garų būvį, esant tai pačiai temperatūrai, tankumas sumažės apie 1300 sykių. Kitaip sakant, 1 gramas vandens garų stovyje 20^0 temperatūra užima 1300 sykių didesnį tūrį kaip skystam stovyje. Taigi pereinant iš skysto būvio į garų būvį reikia skaitytis su smarkiu medžiagos išsiskėtimu. O toksai skėtimasis visuomet yra surištas su darbo atlikimu prieš atmosferą. Iš to, kas anksčiau pasakyta apie tirpimą, aišku, kad tam darbui atlikti reiks suteikti skysčiui tam tikrą šilimos kiekį. Be to, dar pereinant iš skysto į garų stovį, kohezijos jėgos tarp molekulų visuomet žymiai mažėja ir dažnai reiškiasi disociacija, kitaip sakant, sudėtinės molekulos skįla į paprastesnes molekulas. Taigi ir šitas procesas yra surištas su tam tikro darbo atlikimu, pergalint kohezijos jėgas ir daliniai chemiškas jėgas, kurios riša molekulų kompleksus. Šitą darbą mes vadiname vidujiniu darbu ir jam atlikti reikia suteikti skysčiui irgi tam tikrą šilimos kiekį. Taigi, norint pereiti nuo skysto būvio į garų būvį, esant tai pačiai temperatūrai, reikia atlikti darbą prieš atmosferą — išorinį darbą ir darbą prieš kohezijos jėgas — vidujinį darbą. Vadinasi, reikia suteikti skysčiui tam tikrą šilimos kiekį. Šita šilima vadinama fizikoje slaptąja garavimo šilima, nes ji neapsireiškia temperatūros pakilimu. Šilima, reikalinga išoriniam darbui atlikti, vidutiniškai sudaro apie dešimtą dalį visos slaptosios garavimo šilimos.



Pieš. 48.

Kad geriau suprastume garavimo procesą ir garų ypatybes, pažvelgsime į šitą procesą kinetinės teorijos atžvilgiu. Įsivaizduokime sau augštą stiklo indą (48 pieš.) cilindro pavidalo su stumekliu AB. Įsivaizduokim sau toliau, kad iš indo pašalintas oras ir ant indo dugno randasi sluogsnis bet kurio skystimo, sakysime, vandens. Einant kinetine teorija vandens molekulos yra smarkaus judėjimo būvyje ir turi įvairių įvairiausius greitumus, bet iš visų tų greitumų užvis dažniau atsikartoja vidutinis greitumas, kaip tai rodo pritaikinimas galimumų teorijos dėsnių prie kinetinės

skysčių ir dujų teorijos. Vadinasi, apskaitydami skysčių arba dujų kinetinę energiją, mes labai mažai apsilenksime su tikrenybe, jeigu visoms molekuloms skirsime tą patį vidutinį greitumą, kuris pareina tik nuo absoliutinės temperatūros, kaip tai aišku iš žinomos jau mums lygties $pv = \frac{2}{3} \frac{Nmc^2}{2} = RT$.

Gilesnių vandens sluogsnių molekulos, nors ir turėdamos didesnius greitumus kaip vidutinis greitumas, negali savo judėjimais peržengti tam tikrų ribų del priežasties susidūrimo su kaimyninėmis molekulomis, negali išeiti iš molekulinių jėgų veikimo sferos ribų. Bet visiškai kitoj padėty randasi paviršutinio sluogsnio molekulos. Ta arba kita molekula, kuri turi didesnį greitumą kaip vidutinis greitumas ir slenka nuo paviršiaus į erdvę, viršum skystimo, gali tiek nutolti nuo kaimyninių molekulų, jog gali išsprukti iš molekulinių jėgų veikimo sferos. Tokia molekula einant inercija lėks savo greitumu toliau, taip kad turint skysčius tuštumoje nuo jo paviršiaus laikas nuo laiko atsiskirs molekulos ir atsidurs tuštumoje. Šitą procesą mes vadiname garavimu. Bet atsiskirant nuo skysčio paviršiaus molekuloms didesnio greitumo, vidutinis skysčio molekulų greitumas mažėja, vadinasi, absolutinė skysčio temperatūra puola, ir norint atstatyti pirmykščią temperatūrą arba palaikyti nuolatinę temperatūrą, reikia suteikti tam tikrą šilimos kiekį (tai ir bus slaptoji garavimo šilima).

Patekę nuo skysčio paviršiaus į indą molekulos daužosi į indo šonus ir tarp savęs ir atšokdamos kartkartėmis taip prisiartina prie skysčio paviršiaus, jog patenka į molekulinių jėgų veikimo sferą, ir tada jos įtraukiamos į skysčio paviršių, arba, kitaip sakant, pereina atgal iš garų stovio į skystą stovį. Perėjimą garų į skystą stovį mes vadiname garų kondensacija. Taigi turėdami, sakysime, vandens sluogsnį uždarytame inde, mes tuo pačiu laiku turėsime du procesus: atsiskyrimą vandens molekulų nuo paviršiaus — vandens garavimą ir įtraukimą garų molekulų į vandens paviršių — vandens garų kondensaciją. Iš pradžios tuščiame inde garavimas vyksta be jokių kliūčių, nes molekulos gali atsiskirti ir išsiskleisti inde niekuo netrukdomos. Bet kada jau inde atsiranda šioks toks molekulų spietis, atsiskyrimas naujų molekulų nuo paviršiaus darosi šiek tiek apsunkintas del priežasties susidūrimų su esančiomis jau inde garų molekulomis. Garavimo procesui einant toliau, molekulų skaičius inde vis didėja, ir atsiskyrimas naujų molekulų nuo vandens paviršiaus darosi vis sunkesnis ir sunkesnis, nes vis daugiau ir daugiau molekulų, atšokusių viena nuo kitos arba nuo indo šonų, patenka į vandens paviršių. Jeigu mes garavimo greitumu pavadinsime molekulų skaičių, kuris per sekundą atsiskiria nuo vandens paviršiaus, o kondensacijos greitumu pavadinsime tą molekulų skaičių, kuris per sekundą grįžta atgal į vandens paviršių, tai aišku, kad iš pradžios garavimas eis tam tikru greitumu, o kondensacijos greitumas bus lygus nuliui. Bet augant molekulų skaičiui uždarytame inde, kondensacijos greitumas vis didės del priežasties vis dažnesnio ir dažnesnio susidūrimo tarp molekulų, o garavimo greitumas ims mažėti del tos pat priežasties, taip kad per tam tikrą laiką šitie du greitumai turi išsilyginti. Vadinasi, bus atsiekta tokia padėtis, kada per 1 sekundą nuo vandens paviršiaus atsiskiria toks pat molekulų skaičius, koksai grįžta į vandens paviršių. Kada bus pasiekta tokia padėtis, tai molekulų skaičius uždarame inde nebesikeis, ir kadangi dujų ir garų spaudimas į indo šonus pareina nuo molekulų skaičiaus, tai nesimainant temperatūrai mes turėsime tam tikrą nesimainantį garų spaudimą, kuris gali būti išmatuotas, jeigu mūsų indas bus aprūpintas manometru. Jeigu mes kokiu nors būdu įleistumėm į indą daugiau vandens, tai garų spaudimas nepasikeis. Taip pat jeigu mes į indą kokiu nors būdu įleistumėm daugiau garų molekulų, tai padidintumėm tik susidūrimų skaičių, ir pagaliau kiek buvo įvesta naujų molekulų, tiek molekulų del priežasties dažnesnių susidūrimų pateks į vandens paviršių, ir mes turėsime tokį pat spaudimą, koksai buvo iš pradžios. Taigi mes čia galime kalbėti apie pusiausvyrą tarp skystos ir garinės, arba dujiškos, kūno fazės. Šita pusiausvyra charakterizuojama tuo, kad kiek per tam tikrą laiką molekulų išgaruoja, tiek pat jų sukondensuojama, taip kad molekulų skaičius uždarame inde nesimaino, nepaisant to, kad molekulų judėjimas viena ir kita prasme nesustoja. Todel šita pusiausvyra vadinasi dar judamoji pusiausvyra.

Iš čia išeina, kad duotame tūryje esant duotai temperatūrai tegali tilpti tik tam tikras garų kiekis. Kada tokia padėtis atsiekta, tai mes sakome, kad tūris arba tam tikra erdvės dalis soti garų, ir tokius garus mes vadiname sočiais garais.

Pakelsime dabar augštyn stumeklį iki padėties A_1 B_1, padidindami tuo būdu užimtą garų tūrį du sykiu, palaikydami tą pačią temperatūrą. Skaičius garų molekulų susidūrimų tarp savęs ir su indo šonais sumažės ir kaipo išdava sumažės skaičius molekulų, atmetamų atgal į skysčio paviršių, tuomet kaip skaičius molekulų, išlekiančių iš skysčio paviršiaus pasiliks tas pats, jeigu tik nepasikeis temperatūra, nes tas molekulų skaičius pareina ne nuo skysčio kiekio, bet nuo skysčio paviršiaus didumo. Vadinasi, garavimas eis tuo pačiu greitumu sumažėjus kondensavimo proceso greitumui. Kaipo išvada tokios padėties skaičius garų molekulų tūryje viršum skysčio paviršiaus augs.

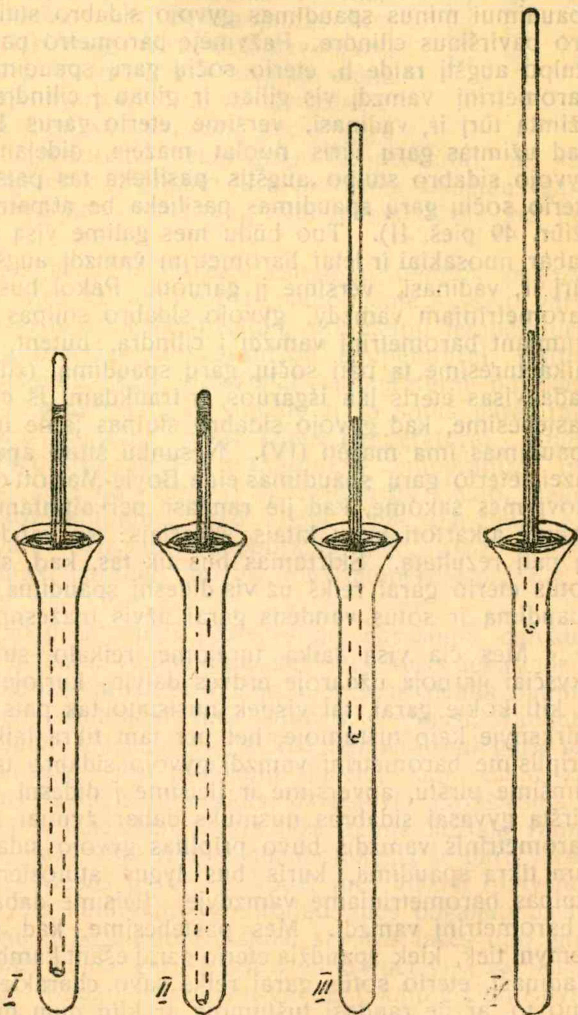
Augs taip pat ir skaičius molekulų susidūrimų, ir mes turėsime kondensacijos greitėjimą kaipo vaisių didėjančio molekulų susidūrimų skaičiaus. Pagaliau pasieksime vėl tokią padėtį, kada kiekvieną sekundą tiek pat molekulų išlėks iš skysčio paviršiaus, kiek jų grįš atgal į skysčio paviršių. Pasiekus tai, garų molekulų skaičius dusyk didesniame tūryje pasidarys dusyk didesnis. Vadinasi, garų tankumas ir jų spaudimas pasidarys vėl toks pat, koks buvo mažesniame tūryje. Kadangi pasiekus pusiausvyrą tarp garų kondensacijos ir skysčio garavimo proceso molekulų skaičius tūryje viršum skysčio paviršiaus nebesikeis, tai mes vėl turėsime sočių garų stovį su tam tikru spaudimu, tokiu pat, kaip iš pradžios, jeigu tik nepasikeis temperatūra. Pavarę stumeklį dar labiau augštyn, sakysime, iki padėties A_2 B_2, taip kad tūris viršum skysčio paviršiaus pasidarytų 3 sykius didesnis, vėl išgaruos tam tikras kiekis skysčio, pakol garų molekulų skaičius trisyk didesniame tūryje pasidarys tris sykius didesnis, vadinasi, pakol bus atsiektas tas pats garų tankumas ir jų spaudimas, kaip buvo iš pradžios. Keldami stumeklį vis augščiau ir augščiau, vis daugiau ir daugiau skystimo išgaruos, atsistatant visą laiką pirmykščiam spaudimui. Pagaliau visas skystimas išgaruos, ir jeigu dabar toliau mes didinsime tūrį, tai garų spaudimas ims mažėti einant Boyle-Mariott'o dėsniu, nes tada jau mes turėsime nebe sočius garus, bet panašius į orą ir kitas paprastas dujas. Tokie garai, kurie nėra sočiame stovyje, fizikoje vadinami perkaitintais garais.

Taigi aprašytas čia garavimo procesas nesimainant temperatūrai eina kaipo vaisius tūrio didinimo. Tūrio didinimas reiškia tam tikrą darbą prieš atmosferos spaudimą. Be to, dar atliekamas tam tikras darbas atsiskiriant molekuloms nuo skysčio paviršiaus prieš skysčio kohezijos jėgas.

Abiems šitiems darbams atlikti reikalinga šilima, kuri aprašytame procese imama iš oro, nes tūrio didinimas eina nuosakiai ir lėtai, ir, vadinasi, yra pakankamai laiko, kad paimta iš pačio skysčio šilima augščiau nurodytiems darbams atlikti (slaptoji garavimo šilima) būtų kiekvienu momentu papildoma tekančia per indo šonus iš oro šilima. O jeigu mes staiga pakeltumėm augštyn stumeklį, vadinasi, staiga padidintumėm tūrį, tai skysčio temperatūra nupultų žemyn, nes reikalinga išoriniam ir vidujiniam darbui atlikti šilima būtų paimta iš skysčio, nespėjant pakankamai pritekėti šilimos iš oro. Mes turėtumėm tada vadinamąjį adiabatinį procesą, kuris skiriasi nuo izoterminio proceso, vadinasi, nuo garavimo esant tai pačiai temperatūrai.

Pasiekę perkaitintą garų stovį imsime dabar nuosakiai ir lėtai varyti stumeklį žemyn, imsime, vadinasi, mažinti garų užimtą tūrį. Iš pradžios mažindami tūrį mes turėsime spaudimo augimą einant Boyle-Mariott'o dėsniu, ir tasai spaudimas augs patol, pakol bus pasiektas sočių garų spaudimas, arba, kitaip sakant, pakol garai jų užimtame tūryje pasidarys sotūs. Pasiekus tokią padėtį ir mažinant tūrį toliau, dalis garų susikondensuos, ir mūsų inde susidarys ploniausias skysčio sluogsnis. Tęsiant toliau tūrio mažinimą skysčio sluogsnis vis didės pasiliekant garų spaudimui be atmainos, ir tas procesas tęsis patol, pakol mes, mažindami tūrį, sukondensuosime visus garus, taip kad inde bus tiktai skystis. Mažindami tūrį, užimtą tam tikru molekulų skaičiumi, mes didiname garų molekulų susidūrimų skaičių, ir, vadinasi, greitiname garų kondensacijos procesą, o garavimo procesas, kuris pareina tik nuo skysčio paviršiaus didumo pasiliekant temperatūrai be atmainos, eina vidutiniškai pusiausvyros

greitumu. Kondensuojantis garams, pasiliuosuoja slapta garavimo šilima, kuri turi pakankamai laiko išeiti į orą, jeigu tūrio mažinimas varomas nuosakiai ir lėtai, taip kad čia mes turime izoterminę garų kondensaciją. Aprašytas čia procesas charakterizuojamas tuo, kad mes čia sudarome fizinio stovio atmainą, keisdami tūrį, arba, kitaip sakant, nuosakiai ir lėtai keisdami spaudimą. Didindami tūrį, arba, kitaip sakant, mažindami spaudimą, mes verčiame skystį garuoti esant pastoviai temperatūrai. Garuojant tokiomis sąlygomis, pakol mes turime dar šiek tiek skystimo, kiekvienu momentu atsistato sočių garų spaudimas. Mažindami tūrį, arba, kitaip sakant, didindami spaudimą, mes verčiame garus kondensuotis. Ir čia kiekvienu momentu atsistato sočių garų spaudimas, pakol mes turime dvi fazes: skystą ir garinę, jeigu tik tūris mažinamas nuosakiai ir lėtai. Taigi mes galime pasakyti, kad pusiausvyra tarp skystos ir garinės fazių, esant nuolatinei temperatūrai, charakterizuojama tam tikru spaudimu, būtent, sočių garų spaudimu, ir visiškai nepareina nuo kiekio skystos ir garinės fazės. Ar mes paimsime daug ar labai mažai skystimo, mes visuomet turėsime tą patį garų spaudimą, pakol bus kontakte abidvi fazės. Stengdamiesi pakelti spaudimą, mes atsieksime tik tai, kad sumažės kiekis garų fazės ir padidės kiekis skystos fazės, atsistatant pirmykščiam spaudimui. Stengdamiesi sumažinti spaudimą, mes sumažinsime skystos fazės kiekį ir padidinsime garų fazės kiekį, garų spaudimui pasiliekant be atmainos. Išnykus, sakysim, skystai fazei, mes turėsime jau nebe sočius garus, kurie eina Boyle-Mariott'o dėsniu, panašiai kaip ir paprastos dujos. O išnykus garų fazei, mes turėsime tik skystimą, kuriam šiek tiek suspausti reikės pavartoti milžiniški spaudimai. Parodyti, kad esant nuolatinei temperatūrai sotūs garai turi nuolatinį spaudimą, pasinaudosime aparatu, kurį atvaizduoja 49 piešinys ir su kuriuo jau mes turėjome reikalo tikrindami Boyle-Mariott'o dėsnį (II skyrius, Hidrodinamika ir Aerodinamika). Mes čia turime ilgoką stiklinį arba net ir geležinį cilindrą, praplėstą viršutinėje dalyje, pripiltą gyvojo sidabro. Paėmę graduotą barometrinį vamzdį ir pripylę jį iki pat krantų gyvojo sidabro, užkimšime atdarą galą pirštu ir apvertę įleisime tą galą į didžiojo cilindro gyvąjį sidabrą. Atėmus pirštą gyvasai sidabras barometriniam vamzdy nuslinks kiek žemyn, taip kad jame viršum gyvojo sidabro susidarys Torricelli'o tuštuma. Aplamai gi gyvasai sidabras barometriniame vamzdyje



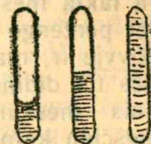
Pieš. 49.

stovės viršum gyvojo sidabro paviršiaus didžiajame cilindre stulpu tokio augštumo, kurį rodo barometras. Paimsime mažą pipetę su užlenktu augštyn galu ir, įtraukę į ją nedidelį kiekį eterio, pakišime užlenktą galą po barometriniu vamzdžiu. Nuėmus pirštą nuo kito pipetės galo ir palenkus ją taip, kad ji stovėtų stačiau, eteris išeis iš jos ir, kaipo žymiai lengvesnis už gyvąjį sidabrą, pakils augštyn ir susirinks barometriniame vamzdyje viršum gyvojo sidabro. Dalis eterio tuojau išgaruos ir jo sočių garų spaudimu gyvojo sidabro stulpas bus nuvarytas žemiau (žiūr. 49 pieš. I), bet visgi, esant kambario temperatūrai, stovės augščiau kaip gyvojo sidabro paviršius didžiajame cilindre. Aišku, kad eterio sočių garų spaudimas bus lygus atmosferos spaudimui minus spaudimas gyvojo sidabro stulpo, kuris randasi viršum gyvojo sidabro paviršiaus cilindre. Pažymėję barometro parodymą raide B ir šito gyvojo sidabro stulpo augštį raide h, eterio sočių garų spaudimas bus B — h mm. Stumdami dabar barometrinį vamzdį vis giliau ir giliau į cilindrą, mes mažinsime eterio sočių garų užimtą tūrį ir, vadinasi, versime eterio garus kondensuotis. Taigi mes pastebėsime, kad užimtas garų tūris nuolat mažėja, didėjant kiekiui skysto eterio, bet visą laiką gyvojo sidabro stulpo augštis pasilieka tas pats, būtent, h. Vadinasi, mažinant tūrį, eterio sočių garų spaudimas pasilieka be atmainos ir visą laiką yra lygus B — h mm. (žiūr. 49 pieš. II). Tuo būdu mes galime visą eterį padaryti skysto stovio. Keldami dabar nuosakiai ir lėtai barometrinį vamzdį augštyn, mes didinsime eterio garų užimtą tūrį ir, vadinasi, versime jį garuoti. Pakol bus nors mažiausias lašelis skysto eterio barometriniam vamzdy, gyvojo sidabro stulpas visą laiką turės tą patį augštį, kaip ir stumiant barometrinį vamzdį į cilindrą, būtent, h. Vadinasi, didindami tūrį mes visą laiką turėsime tą patį sočių garų spaudimą (žiūr. 49 pieš. III). Pasiekę tokią padėtį, kada visas eteris jau išgaruos, ir traukdami iš cilindro toliau barometrinį vamzdį, mes pastebėsime, kad gyvojo sidabro stulpas jame ima kilti augštyn, vadinasi, eterio garų spaudimas ima mažėti (IV). Nesunku šituo aparatu konstatuoti, kad išnykus skystai fazei, eterio garų spaudimas eina Boyle-Mariott'o dėsniu. Pasiekus eterio garams tokį stovį mes sakome, kad jie randasi perkaitintame stovyje. Tą patį eksperimentą mes galime atkartoti ir su kitais skysčiais: su vandeniu, benzolu ir t. t., ir konstatuosime tą patį rezultatą. Skirtumas bus tik tas, kad, sakysime, esant kambario temperatūrai sotūs eterio garai reikš už vis didesnį spaudimą, sotūs garai benzolo ir spirito mažesnį spaudimą ir sotūs vandens garai užvis mažesnį spaudimą.

Mes čia visą laiką turėjome reikalo su skysčių garavimu tuštumoje. Jeigu skysčiai garuoja uždaroje erdvės dalyje, kurioje randasi kokios nors dujos arba net ir kiti kokie garai, tai vistiek nusistato tas pats sočių garų spaudimas, tiktai ne akimirksnyje kaip tuštumoje, bet per tam tikrą laiką (dažniausiai labai trumpas laikas). Pripilsime barometrinį vamzdį gyvojo sidabro taip, kad jame pasiliktų dalis oro. Užkimšime pirštu, apversime ir įleisime į didesnį cilindrą su gyvuoju sidabru. Atėmus pirštą gyvasai sidabras nusmuks dabar žymiai žemiau kaip tuo atveju, kada visas barometrinis vamzdis buvo pripiltas gyvojo sidabro, nes pasilikęs vamzdyje oras reikš tam tikrą spaudimą, kuris bus lygus atmosferos spaudimui minus gyvojo sidabro stulpas barometriniame vamzdyje. Įleisime dabar užlenktos pipetės pagalba vėl eterio į barometrinį vamzdį. Mes pastebėsime, kad gyvojo sidabro stulpas nusmuks dabar žemyn tiek, kiek spaudžia eterio garai esant kambario temperatūrai, būtent, per 435 mm. Vadinasi, eterio sotūs garai reikš savo charakteringą spaudimą visiškai nepriklausomai nuo to, ar jie randasi tuštumoje ar kitų dujų mišiny. Mes tada kalbame apie parcialinį garų spaudimą, kuris eina Daltono dėsniu, nes visas mišinio spaudimas bus lygus sumai oro, eterio garų ir kitų dujų, jeigu tik jos ten randasi, parcialiniu spaudimu.

Paimsime dabar iš storo stipraus stiklo uždarytą iš vieno galo vamzdį, kaitindami ant lempos ištempsime kitą galą kaklo pavidalu, pripilsime jį iki trečios dalies distiliuoto vandens ir ištraukę siurblio pagalba orą, užlydysime ir kitą galą nutempdami ant lempos kaklą (žiūr. 50 pieš.). Tokiame vamzdyje mes turėsime, sakysime, esant kambario temperatūrai 20^0, vandens skystą ir garų fazes. Garai bus sotūs ir reikš spaudimą, atitinkamą kambario temperatūrai. Įdėsime taip paruoštą vamzdį į tynę augštesnės kaip kambario temperatūros, sakysime, 50^0 arba lempos pagalba tiesiog

pakelsime vamzdžio temperatūrą iki 50°. Einant kinetine dujų teorija, pakilus temperatūrai padidės skysčio molekulų vidutinis greitumas ir kaipo išdava padidės skysčio molekulų skaičius, kurios atsiskiria nuo skysčio paviršiaus kiekvieną sekundą, kitaip sakant, padidės garavimo greitumas. Augant molekulų skaičiui garų užimtoje vamzdžio dalyje, didės ir garų molekulų susidūrimų skaičius, ir kaipo išdava skaičius garų molekulų, kurios atsimušę viena nuo kitos arba nuo vamzdžio šonų, pateks atgal į skysčio paviršių, kitaip sakant, didės garų kondensacijos greitumas. Nusistačius tai pačiai temperatūrai skystai ir garų fazėms, skysčio garavimo ir garų kondensacijos greitumai išsilygins ir, vadinasi, vėl bus atsiektas statinis stovis, kuris charakterizuojamas tuo, kad per laiko vienetą toks pats skysčio kiekis išgaruoja nuo paviršiaus, koksai garų kiekis pereina į skystą stovį. Vadinasi, bus atsiekta tokia padėtis, kada garų kiekis garų užimtoje vamzdžio dalyje nebesikeis, jeigu tik temperatūra nebesikeis. Taigi mes vėl turėsime sočių garų stovį, kuris charakterizuojamas nuolatiniu spaudimu nesimainant temperatūrai, tik tas spaudimas bus dabar didesnis del priežasties padidėjusio garų molekulų skaičiaus garų užimtoje vamzdžio dalyje, nes garų spaudimas, esant tai pačiai temperatūrai, yra tiesioginai proporcingas jų tankumui.



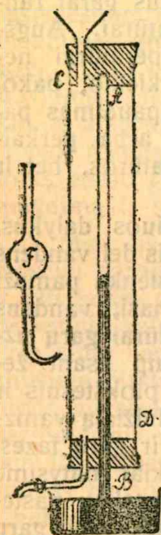
Pieš. 50.

Pakėlę tynės temperatūrą iki, sakysime, 100° arba tiesioginai lempos pagalba pakėlę vamzdžio temperatūrą iki 100°, mes vėl atitinkamai padidinsime skysčio garavimo greitumą, vėl pasieksime pusiausvyros arba statinį stovį, atitinkantį temperatūrai 100° su tam tikru sočių garų spaudimu, didesniu kaip esant 50° temperatūrai. Kaitindami stiklo vamzdį toliau mes konstatuosime, kad kiekvienai temperatūrai nusistato tam tikras sočių garų spaudimas, esant kuriam skystas vanduo ir jo sotūs garai randasi pusiausvyroje, ir kad tas sočių garų spaudimas auga kilant temperatūrai. Augščiau mes konstatavome, kad sočių garų spaudimas nesimainant temperatūrai nepareina nuo garų ir skystos fazės tūrių, arba nuo garų ir skystos fazės kiekio, pakol mes turime abidvi fazes. Dabar mes konstatuojame, kad sočių garų spaudimas pareina nuo temperatūros, ir tuo sotūs garai skiriasi nuo paprastų dujų, arba perkaitintų garų, nes tų pastarųjų spaudimas pareina ne tik nuo temperatūros, bet ir nuo jų tūrio.

Kaitindami vamzdį su vandeniu (50 pieš.), mes pastebėsime dar šiuos dalykus. Pirmiausia skysta fazė atskirta nuo garų fazės, vadinamųjų menisku, kuris del vandens stiklo vamzdyje turi įgaubtą formą. Kilant temperatūrai tas meniskas slenka pamaži vamzdyje augštyn del priežasties vandens keitimosi nuo šilimos, vadinasi, vandens tankumas mažėja. O sočių garų tankumas didėja, nes pakilus temperatūrai garų užimtoje vamzdžio dalyje, mes turėsime didesnį garų molekulų skaičių, kaip esant žemesnei temperatūrai. Tuo pačiu laiku vandens meniskas darosi vis plokštesnis ir plokštesnis. Kaitindami toliau mes pastebėsime, kad skysta fazė užims didžiąją vamzdžio dalį, o garų fazė žymiai mažesnę dalį. Pakol mes turime skystą ir garų fazes, optinės jų savybės skirtingos (skirtingas šviesos lūžis), ir todel mes aiškiai matysime vieną ir kitą fazes, atskirtas menisku. Bet kaitindami vis toliau mes pagaliau pastebėsime, kad meniskas išnyks, ir tada jau nebegalėsime atskirti skystos fazės nuo garų fazės. Visas buvęs vamzdyje vanduo bus dabar garų fazėje vienodo per visą vamzdžio tūrį tankumo ir vienodų optinių savybių. Kadangi kaitinant vandenį, kaip čia nurodyta, vandens tankumas mažėja, o garų tankumas didėja, tai aišku, kad meniskas, kuris skiria skystą fazę nuo garų fazės, išnyks tada, kada abiejų fazių tankumai susilygins. Vandeniui tatai įvyks kaitinant jį taip, kaip čia aprašyta, esant temperatūrai 360°. Jeigu mes darysime eksperimentą taip, kad galima būtų matuoti garų spaudimas kiekviena temperatūra, tai mes konstatuosime, kad vandens garų spaudimas esant temperatūrai 360° yra lygus 200 atmosferų. Vadinasi, augščiau kaip temperatūra 360° nebegali būti vandens skystame stovyje. Jeigu mes darytumėm aprašytą čia eksperimentą vamzdyje su stumekliu, tai nustatę nuolatinę temperatūrą, sakysime, 100° ir pasiekę sočių garų spaudimą, atitinkantį tai temperatūrai, mes, varydami stumeklį žemyn, priversime dalį garų pereiti į skystą stovį, pasiliekant sočių garų spau-

dimui be atmainos. Taip pat keliant stumeklį augštyn dalis skystimo išgaruos, vadinasi, sumažės skystas fazės kiekis, padidės garų fazės kiekis, bet sočių garų spaudimas pasiliks be atmainos, ir jo dydis visą laiką bus toks, kaip atitinka temperatūrai 100°, būtent, 1 atmosfera, kaip mes pamatysime vėliau. Dalykas tas, kaip jau pasakyta anksčiau, kad esant kontakte abiems fazėms — skystai ir garų fazei — garų spaudimas nepareina nuo vienos ar kitos fazės kiekio, bet pareina tik nuo temperatūros. Tą faktą mes konstatuosime ir visoms kitoms temperatūroms, žemesnėms kaip 360°. Bet peržengę 360° mes turėsime tik vieną garų fazę, turėsime garus perkaitintame stovyje ir, mažindami tokių garų užimtą tūrį stumekliu, arba spausdami tokius garus, mes tik didinsime jų spaudimą, bet jokiais, kad ir be galo dideliais, išoriniais spaudimais mes nebesugebėsime priversti garus pereiti į skystą stovį. Vadinasi, vanduo augščiau kaip temperatūra 360° gali būti tiktai garų arba dujiškame stovyje. Todel temperatūra 360° vadinasi vandens krizio temperatūra, ir vandens garų spaudimas esant tai temperatūrai, būtent, 200 atm. krizio spaudimas. Taigi norint gauti skystą vandenį iš garų reikia pirmiausia turėti garus esant temperatūrai, žemesnei kaip 360°, ir tada vien tik spaudimu galima bus pasiekti sočių garų stovį ir priversti dalį jų pereiti į skystą stovį.

Kas čia pasakyta apie vandens garus gali būti atkartota kalbant apie kiekvieną dujišką medžiagą. Oras ir dauguma dujų, esant paprastoms temperatūroms, randasi perkaitintame stovyje, vadinasi, žymiai augščiau kaip jų krizio temperatūros. Taigi oro ir daugumos dujų, esant paprastoms temperatūroms, jokiais, kad ir milžiniškais, spaudimais negalima sukondensuoti į skysčius. Smarkiai didindami spaudimus mes tik sprogdinsime indus ir daugiau nieko. Norint gauti orą skystame stovyje reikia jį pirmiausia atvėsinti kiek žemiau kaip jo krizio temperatūra, būtent, kiek žemiau kaip — 150°, ir tada spaudimu keliasdešimt atmosferų (mažesniu kaip oro krizio spaudimas) galima bus suskystinti orą. Juo smarkiau mes atvėsinsime orą, juo mažesniais spaudimais mes sugebėsime suskystinti orą. Pavyzdžiui, atvėsinę jį iki — 200°, galėsime suskystinti jį jau tik 1 atmosf. spaudimu, nes esant šitai temperatūrai oro sočių garų spaudimas jau bus mažesnis kaip 1 atmosfera. Taigi skystinant įvairias dujas reikia pirmiausia nustatyti jų krizio temperatūros. Pakol į tai nebuvo atkreipta akių ir pakol krizio temperatūros nebuvo nustatytos, visos pastangos sukondensuoti orą ir kitas vadinamąsias permantines dujas nuėjo niekais, jeigu nekalbėti apie kelis nelaimingus atsitikimus su mokslininkais, kurie, vartodami milžiniškus spaudimus, nustojo gyvasties del priežasties stiklinių arba net ir plieninių indų sprogimo.



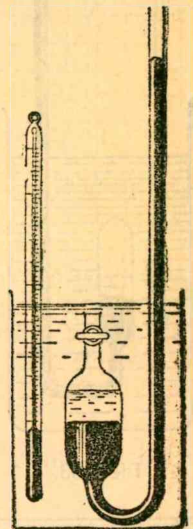
Pieš. 51.

Kad sočių garų spaudimas žymiai pareina nuo temperatūros, galima demonstruoti pagalba aparato, kurį atvaizduoja 49 piešinys. Jeigu mes pridėsime lempos liepsną prie barometrinio vamzdžio galo, užimto eterio sočiais garais (49 pieš. I), tai įgavę tie garai šilimos pereis į perkaitintą stovį ir elgsis taip, kaip paprastos dujos, vadinasi, kilant temperatūrai jų spaudimas didės einant Gay-Lussac'o dėsniu, ir gyvojo sidabro stulpas barometriniame vamzdyje mažai paslinks žemyn. Bet jeigu mes liepsną pridėsime prie tos vamzdžio vietos, kur randasi skystas eteris, tai tuojau pastebėsime žymų puolimą žemyn gyvojo sidabro stulpo, vadinasi, konstatuosime žymų sočių garų spaudimo padidėjimą pakėlus temperatūrą.

Aprašysime dabar metodą sočių garų spaudimui įvairioms temperatūroms nustatyti. Tam reikalui galima pavartoti aparatas, kurį atvaizduoja 51 piešinys. Svarbiausioji jo dalis — tai barometrinis vamzdis AB, pripiltas gyvojo sidabro ir atdaru galu įdėtas į indą su gyvuoju sidabru, taip kad viršum gyvojo sidabro barometriniame vamzdyje susidarytų Torricelli'o tuštuma. Ant barometrinio vamzdžio dviejų kaučiuko arba net korkio kamščių pagalba užmautas platesnis stiklo cilindras CD, kaip rodo piešinys. Per viršutinį stiklo cilindro kamštį įkištas nedidelis piltuvas, per apatinį

kamštį — užlenktas stiklo vamzdis su kranu. Per viršutinį stiklo cilindro kamštį reikia dar įkišti termometras. Pagalba nedidelės pipetės F su užlenktu galu (žiūr. 51 pieš.) įleisime į barometrinį vamzdį iš apačios per gyvąjį sidabrą skystą eterį. Jis atsidurs tuojau viršum gyvojo sidabro Torricelli'o tuštumoje. Per piltuvėlį C galima pripilti tarpą tarp barometrinio vamzdžio AB ir cilindro CD šonų skystu šaldymo mišiniu ir surast eterio sočių garų spaudimą esant temperatūrai žemesnei kaip 0°, būtent, šaldymo mišinio temperatūrai. Šitą šaldymo mišinį galima nuleisti ir pripilti tarpą tarp barometrinio vamzdžio ir cilindro šonų smulkaus ledo ir vandens mišinio, ir tokiu būdu surasti eterio garų spaudimą temperatūrai 0°. Toliau leidžiant pro apatinį užlenktą stiklo vamzdį verdančio vandens garus į tarpą, pripiltą vandens, tarp barometrinio vamzdžio ir stiklo cilindro šonų galima nustatyti eilę temperatūrų, augštesnių kaip 0°, ir kiekvienai iš tų temperatūrų atskaityti eterio sočių garų spaudimą, kuris visais atvejais čia bus lygus barometro parodymui minus gyvojo sidabro augštis (milimetrais) barometriniame vamzdyje, skaitant nuo gyvojo sidabro paviršiaus apatiniame inde. Kada leidžiant verdančio vandens garus į vandens tynę apie barometrinį vamzdį bus pasiekta temperatūra 35°, gyvasai sidabras nuslinks barometriniame vamzdyje žemyn ligi lygumos gyvojo sidabro apatiniame inde. Vadinasi, eterio sočių garų spaudimas esant temperatūrai 35° bus lygus išoriniam atmosferos spaudimui. Taigi nustatyti šituo aparatu eterio garų spaudimą, esant temperatūroms, augštesnėms kaip 35°, nebegalima.

Tuo pačiu aparatu ir aprašytu būdu galima nustatyti sočių garų spaudimas spiritui, vandeniui ir kitiems skystimams, bet tik iki tos temperatūros, esant kuriai šitų skystimų sočių garų spaudimas darosi lygus išoriniam atmosferos spaudimui. Spiritui tai bus temperatūra 78°, vandeniui 100° ir t. t. Temperatūra, esant kuriai skystimo arba garų spaudimas yra lygus 1 atmosf., vadinasi normalinė skystimo virimo temperatūra. Eteriui tai bus 35°, spiritui 78°, vandeniui 100° ir t. t.


Pieš. 52.

Norint surasti sočių garų spaudimą temperatūroms, augštesnėms kaip normalinė virimo temperatūra, galima pasinaudoti aparatu, kurį atvaizduoja 52 pieš. Mes čia turime susisiekimo indą, kurio viena šaka žymiai ilgesnė, bet siauresnė, kaip kita, kuri turi cilindro pavidalą su kaklu, aprūpintu kranu. Atidarius kraną, į ilgąją šaką pilamas gyvasai sidabras pakol jo lyguma platesnioje šakoje pasieks vidurį. Gyvasai sidabras abiejose šakose stovės to paties augščio. Likusią platesnio stiklo cilindro dalį galima pripilti eterio, spirito, aplamai tokio skystimo, kurio normalinė virimo temperatūra yra žemesnė kaip 100°. Tad gyvasai sidabras ilgesnioje šakoje stovės truputį augščiau. Uždarius kraną, gyvojo sidabro meniskų padėtis platesnėje ir siauresnėje šakose nepasikeis. Įdėsime dabar taip paruoštą susisiekimo indą, sakysime, su eteriu platesnioje šakoje į tynę su vandeniu ir įkišime į vandenį termometrą. Šildydami šitą vandenį iš apačios lempos pagalba, mes galime suteikti jam eilę temperatūrų augštesnių kaip 35°, vadinasi, augštesnių kaip normalinė eterio virimo temperatūra. Kiekvienai tokiai temperatūrai garų spaudimas bus lygus 1 atmosferai plus gyvojo sidabro stulpas ilgesnėje šakoje viršum gyvojo sidabro lygumos platesniame cilindre, minus skystimo augštis tam platesniam cilindre, išreikštas milimetrais ir padalintas iš santykio gyvojo sidabro ir to skystimo (vadinasi, čia eterio) lyginamųjų svorių. Be to, dar reikia jau anksčiau nurodytais būdais redukuoti gyvojo sidabro stulpo augštį nulio laipsnio temperatūra, nes del tynės augštesnės temperatūros gyvojo sidabro stulpas bus augštesnis. Taip pat, žinoma, reikia redukuoti nulio laipsnio temperatūra ir barometro parodymą.

Šituo aparatu galima nustatyti sočių garų spaudimas iki 2 atmosferų, nes tokiam spaudimui ilgesnioji susisiekimo indo šaka, arba sifoninio manometro atdara šaka,

bus ne ilgesnė kaip 1 metras. Didesniems spaudimams, vadinasi, esant augštesnėms temperatūroms toksai manometras su atdara šaka bus nepatogus del priežasties tos šakos didelio ilgio. Taigi, norint surasti sočių garų spaudimą eteriui, spiritui, vandeniui ir kitiems skystimams esant temperatūroms žymiai augštesnėms kaip tų skystimų normalinės virimo temperatūros, galima pavartoti manometrą su uždara ilgesne šaka kaip rodo 53 pieš., paliekant toje uždaroję šakoje tam tikrą oro tūrį. Per manometro cilindro kaklą pilamas į manometrą gyvasai sidabras iki $^2/_3$—$^3/_4$ to cilindro tūrio, o likusi dalis pripildoma bandomojo skystimo, sakysime, vandens. Čionai gyvasai sidabras iš pradžios stovės truputį žemiau manometriniam vamzdy kaip manometro cilindre, todel kad pildami gyvąjį sidabrą ir paskui skystimą, mes suspausime orą uždarame manometriniame vamzdyje ir tuo būdu padarysime tą oro spaudimą truputį didesnį kaip atmosferos spaudimas.

Pripildę, kaip pasakyta, manometro cilindrą gyvojo sidabro ir bandomojo skystimo, užlydysime šitą cilindrą kaitindami jo kaklą lydymo lempos pagalba, ir jam suminkštėjus nutempdami jį. Paruoštas tokiu būdu manometras su bandomuoju skystimu, sakysime, su vandeniu, įdedamas į tokio aliejaus tynę, kurio virimo temperatūra yra apie 200°, į tą pačią tynę įdedamas ir termometras. Kaitindami tynę iš apačios Bunseno lempos pagalba, mes galime nustatyti ir palaikyti trumpesniam ar ilgesniam laikui eilę temperatūrų, augštesnių kaip vandens virimo temperatūra, ir atskaityti sočių vandens garų spaudimą toms augštesnėms temperatūroms. Darantis manometro cilindre garams ir augant jų spaudimui, gyvojo sidabro paviršius cilindre slinks žemyn, o manometriniame vamzdyje kils augštyn spausdamas uždarytą orą, kurio spaudimas keisis einant Boyle-Mariott'o dėsniu. Taigi matuodami oro užimtą tūrį mes surasime, kiek sumažės tas tūris ir, vadinasi, kiek padidės spaudimas, palyginti su tuo spaudimu, kurį reiškia oras, sakysime, esant kambario temperatūrai.

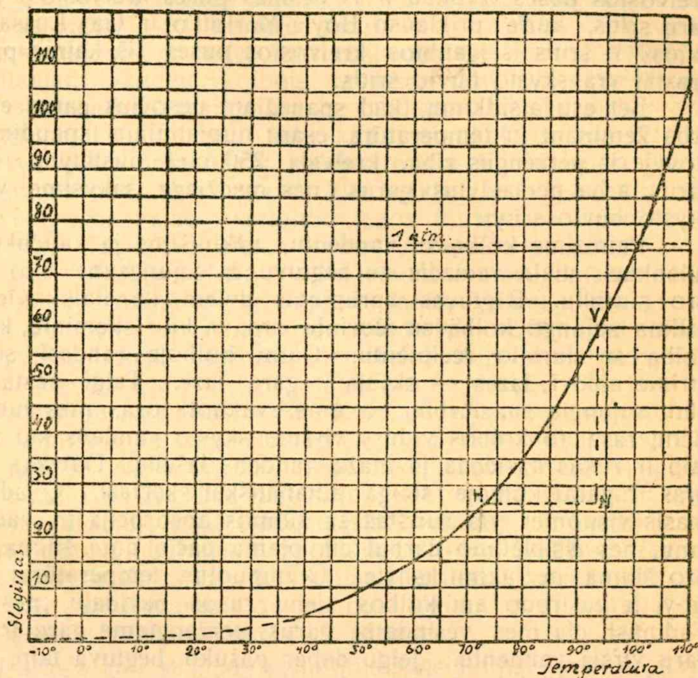

Pieš. 53.

Žemiau duodama lentelė sočių garų spaudimo eteriui, spiritui ir vandeniui įvairioms temperatūroms.

Temperatūra	Eteris	Spiritas	Vanduo
— 20	66 mm.	3,3 mm.	1 mm.
0	185 mm.	12,5 mm.	4,6 mm.
+ 20	440 mm.	44 mm.	17,5 mm.
40	1,2 atmosf.	134 mm.	55 mm.
60	2,3 atmosf.	351 mm.	149 mm.
80	4 atmosf.	1,1 atmosf.	355 mm.
100	6,4 atmosf.	2,2 atmosf.	760 mm.
120	10 atmosf.	4,2 atmosf.	2 atmosf.

Atvaizduosime šituos davinius, sakysime, vandeniui grafiškai, atidėdami ant abscisos temperatūras, o ordinatomis atitinkančius toms temperatūroms spaudimus. Gausime kreivąją liniją, kurią atvaizduoja 54 piešinys. Esant žemesnėms temperatūroms šita linija pamaži kįla augštyn, bet esant augštesnėms temperatūroms ji darosi vis statesnė ir statesnė. Šita linija, vadinamoji sočių garų spaudimo linija, paduoda pusiausvyros sąlygas skystai ir garų fazėms ta prasme, kad skystas vanduo ir vandens garai gali koegzistuoti esant tam tikrai temperatūrai ir tam tikram spaudimui. Sakysime, esant 80° temperatūrai skystas vanduo gali koegzistuoti su sočiais garais tik

tada, kada tų garų spaudimas yra lygus 355 mm. Jeigu mes nemainydami temperatūros mainysime spaudimą, tai nyks viena ar kita fazė: mažinant spaudimą garuos vanduo, vadinasi, nyks skysta fazė; didinant spaudimą kondensuosis garai — nyks garų fazė. Taip pat nyksta ta ar kita fazė mainant temperatūrą. Keliant temperatūrą garuos vanduo—nyks skysta fazė, nes esant augštesnei temperatūrai vanduo ir garai gali būti pusiausvyroj tiktai atitinkamai padidėjus garų spaudimui. Taip pat esant žemesnei temperatūrai skystas vanduo ir garai gali būti pusiausvyroj tiktai atitinkamai sumažėjus garų spaudimui. Todel žeminant temperatūrą garai kondensuosis, nyks garų fazė. Kas čia pasakyta kalbant apie vandenį, galima atkartoti kalbant apie bet kurį skystimą, ir sočių garų spaudimo kreivoji kitiems skystimams yra panaši į vandens sočių garų spaudimo kreivąją.



Pieš. 54.

Kiekviena kreiva linija turi savo lygtį, ir todel pareinà sočių garų spaudimo nuo temperatūros gali būti išreikšta lygtimi. Bet santykiai čia nepaprasti ir lygtys komplikuotos su eile konstantų, todel tos lygtys čia ir nepaduodamos. Reikalui esant jas galima rasti fizikos dydžių ir konstantų lentelėse.

Jeigu mes fiksuosime bet kurį tašką žemiau garų spaudimo linijos, sakysime, tašką N (žiūr. 54 pieš.), tai tas taškas reprezentuos mums ne sočių, bet perkaitintų garų spaudimą; šie garai gali egzistuoti tiktai nesant skystos fazės, vadinasi, žemiau kreivosios linijos mes turime tik garų sritį. Taškas N reprezentuoja temperatūrą 94^0 ir spaudimą 260 mm., vadinasi, žymiai žemesnį spaudimą kaip sočių garų spaudimas tąja pačia temperatūra, būtent, 600 mm. Todel vanduo kontakte su tokiais garais nebus pusiausvyroje ir garuos pakol garų spaudimas pasidarys lygus sočių garų spaudimui esant 94^0 temperatūrai.

Turint perkaitintus, arba nesočius, garus galima dviem būdais pasiekti sočių garų stovį. Spausdami garus (mažindami jų užimtą tūrį), mes pakelsime jų spaudimą iki V (600 mm.), tai ir bus temperatūrai 94^0 sočių garų spaudimas. Spaudžiant toliau (mažinant toliau tūrį) garai ims kondensuotis, prasidės jų perėjimas į skystą stovį. Iš kitos pusės žemindami temperatūrą ir eidami išilgai linijos NH mes taške H pasieksime mūsų kreivąją liniją. Taškas H atitinka temperatūrai 74^0 ir spaudimui 260 mm., bet tai sočių garų spaudimas esant 74^0 temperatūrai. Žeminant temperatūrą dar toliau garai ims virsti skystu vandeniu. Vadinasi, ar mes eisime vienu keliu, ar kitu keliu, mes visuomet pasieksime sočių garų stovį ant kreivosios linijos ir peržengę šitą liniją augštyn pereisim iš garų srities į skysto vandens sritį. Taigi, kad vanduo pradėtų darytis pavidalo rasos, arba rūko, reikia, kad garai pasiektų sotų stovį, o tasai sotus stovis gali būti pasiektas dviem būdais, arba spaudžiant garus, arba žeminant jų temperatūra.

Taigi kreivoji 54 pieš. yra riba tarp garų ir skysto būvio, nes žeminant temperatūrą esant nuolatiniam spaudimui, arba spaudžiant garus esant nuolatinei temperatūrai, arba, pagaliau, veikiant vienu ir kitu būdu, visuomet bus atsiektas tas ar kitas taškas kreivosios, vadinasi, bus atsiektas sočių garų stovis. Paprastai sritis iš išgaubtos kreivosios pusės (žemiau ir iš dešinės pusės kreivosios) yra nesočių, arba perkaitintų, garų sritis, kurie priklauso Boyle-Mariott'o ir Gay-Lussac'o dėsnių kaip ir paprastos dujos; o sritis iš įgaubtos kreivosios pusės (iš kairės pusės viršum kreivosios) paprastai yra skysto būvio sritis.

Bet esti atsitikimų, kad spaudžiant nesočius garus esant nuolatinei temperatūrai arba žeminant jų temperatūrą esant nuolatiniam spaudimui, medžiaga pasilieka garų stovyje ir peržengus ribą, kreivąja 250 pieš. nustatytą. Mes tada turime persotintus garus, arba peršaldytus garus, nes medžiaga, sakysime, vanduo pasilieka garų būvyje skysto būvio srityje.

Paimsime kolbą su vandeniu, užkimšime ją kaučuko kamščiu, per kurį iškištas sulenktas stiklo vamzdis su bėgtuvu, ir sujungsime šito vamzdžio pagalba kolbą su oro siurbliu. Bėgtuvas aprūpintas dviem kanalais: vienu išilginiu, kurio pagalba galima sujungti kolbą su išoriniu oru, ir kitu skersiniu, kurio pagalba galima sujungti kolbą su siurblio recipientu. Garai kolboje randasi sočiam stovyje, nes mes ten turime abidvi fazes — skystą ir garų fazę. Taigi pastatę bėgtuvą taip, kad kolba būtų sujungta su siurbliu, ir ėmę evakuoti orą, mes tuojau pastebėsime ant kolbos sienų rasą (o kolbos vidury viršum skysto vandens kai kada net ir rūką). Kaip rasa taip ir rūkas susideda iš mažų vandens lašelių. Dalykas tas, kad, ėmus evakuoti orą, oras ir garai kolboje staiga adiabatiškai skečiasi. O adiabatiškas dujų ir garų skėtimasis visuomet yra surištas su šilimos apsorpcija ir, vadinasi, su temperatūros puolimu, nes išsiplėtimo darbui eikvojama pačių dujų šilima, kompensuojama tekančia iš oro šilima ne akimirksnyje. O nupuolus temperatūrai dalis garų pereina į skystą stovį ir pasirodo ant kolbos sienų rasos pavidalu, nes kolboje buvo sotūs garai. Vadinasi, čia mes vėsindami garus peržengiame garų ir skystos fazės ribas, ir dalis garų virsta vandeniu. Jeigu dabar pasukti bėgtuvą taip, kad kolba būtų atskirta nuo siurblio ir išilginiu bėgtuvo kanalu sujungta su išoriniu oru, tai tas išorinis oras staiga įsiverš į kolbą ir staiga adiabatiškai suspaus esantį kolboje oro ir garų mišinį. O toksai adiabatiškas suspaudimas visuomet yra surištas su šilimos pasiliuosavimu, ir kadangi ta šilima neturi pakankamai laiko, kad išeitų į išorinį orą, tai temperatūra oro ir garų mišinio pakils, ir, vadinasi, garų stovis kolboje del pakilusios temperatūros nebebus sotus, ir todel rasa kolboje išnyks. Paskalavę vandenį kolboje taip, kad jis apiplautų kolbos sienas, atkartosime aprašytą čia eksperimentą. Mes vėl konstatuosime rasos ir rūko apsireiškimus, staiga evakuodami orą iš kolbos, ir rasos ir rūko išnykimą staiga įleisdami įšorinį orą į kolbą. Bet antrą sykį tas rasos ir rūko apsireiškimas bus žymiai silpnesnis kaip pirmą sykį. Atkartoję šitą eksperimentą kelis sykius, mes pagaliau prieisime prie tokio garų stovio kolboje, kad staigus oro evakuavimas iš kolbos nebesukels kolboje rūko ir rasos apsireiškimo, nepaisant to, kad garai kolboje bus sotūs, nes jie visą laiką randasi kontakte su skystu vandeniu. Jeigu dabar pasiekę šitą stovį ir vel evakuojant orą paveiksime kolbą Rentgeno spinduliais (vadinasi, leisime per kolbą Rentgeno spindulius), arba radio spinduliais, tai mes tuojau pastebėsime vėl rasos ir rūko apsireiškimą. Matuodami garų kiekį, arba garų tankumą, kuris randasi kolboje tokiomis aplinkybėmis, mes konstatuosime, kad tas garų kiekis esti kartais kelis sykius didesnis negu turėtų būti, jeigu garai būtų sočiame stovyje esant kolbos temperatūrai. Vadinasi, kolbos tūris viršum vandens paviršiaus yra persotintas garais, ir mes turime kolboje persotintus garus. Tyrinėjimas Aitkeno, Wilsono ir kitų parodė, kad nepakanka dar pasiekti sočių garų stovį, kad galima būtų mažu temperatūros nukrėtimu arba mažu spaudimo padidinimu priversti tuos garus pereiti į skystą stovį, vadinasi, sukelti rūko arba rasos apsireiškimą. Kad pasiektum sočių garų stovį temperatūros žeminimu arba spaudimo didinimu, galima būtų sukelti garų kondensaciją, reikia dar, kad būtų erdvės dalyje arba tūryje, kur randasi garai, mažos dalelės, dulkės arba jonai — įelektrintos oro arba kitų dujų dalelės, arba elektronai (neigiamos elektros atomai).

Grįžtant prie eksperimento su kolba ir siurbliu, mums dabar bus suprantama, kodel iš pradžios staiga evakuojant orą iš kolbos pasirodo rūkas ir rasa, atkartojus gi šitą eksperimentą kelis sykius rasa nebepasirodo, bet jeigu dabar į kolbą įleisti truputį dūmų ir vėl staiga evakuoti, tai rasa vėl pasirodys. Dūmai susideda iš dujų ir daugybės smulkių kietų dalelių, daugiausia anglies dalelių. Taigi aišku, kad darant staigaus evakuavimo eksperimentą pirmą sykį kolboje buvo tokių dulkių, nes dulkių paprastai visuomet yra pakankamai ore, ir todel šitas eksperimentas privedė prie sočių garų kondensacijos. O skalaujant vandenį kolboje ir atkartojant šitą eksperimentą dulkės, buvusios kolboje su susikondensavusiais ant jų vandens lašeliais, bus nuplautos nuo kolbos sienų ir visos pateks į vandenį, taip kad oras kolboje bus išvalytas nuo dulkių. Vadinasi, į kietas dulkių arba dūmų daleles reikia žiūrėti kaipo į branduolius, apie kuriuos ima kondensuotis sotūs garai. Čia veikia, be abejojimo, nors ir dar ne visiškai išaiškintu būdu, paviršiaus įtempimo jėgos, kurios palengvina perėjimą iš garų fazės į skystą fazę, taip kad kietos dulkių arba dūmų dalelės vaidina skystos fazės gemalų vaidmenį, nelyginant kaip peršaldytame vandeny mažos kietos dalelės arba ledo maži kristaliukai vaidina kietos vandens fazės, būtent, ledo gemalų vaidmenį. Eksperimentas su Rentgeno, arba radijaus, spinduliais rodo, kad tokiais skystos fazės gemalais gali būti ir jonai, vadinasi, įelektrintos dujų molekulos, arba įelektrinti atomai — padarai žymiai mažesni kaip smulkiausios dulkės. Dalykas tas, kad einant per orą arba aplamai per dujų mišinį Rentgeno, arba radijaus, spinduliams, oras darosi geras elektros laidininkas del tos priežasties, kad oro molekulos įgyja elektros krovinius ir tampa jonais. Mes kalbame tokiu atveju apie oro ir dujų jonizaciją. Radijaus junginiai be paliovos išleidžia neigiamus elektros atomus, arba elektronus, ir teigiamai įelektrintus atomus, arba vadinamąsias α-daleles, ir pagaliau nemedžiaginius spindulius, panašius į Rentgeno spindulius. Taigi veikiant radijaus vadinamiesiems spinduliams, oras ir dujos irgi jonizuojasi, ir todel tokiam ore arba tokiose dujose garai negali būti persotintame stovyje, nes tokiam ore visuomet pakankamai yra skystos fazės gemalų augščiau nurodyta prasme.

Toksai persotintų garų stovis gali susidaryti išimtiniais atsitikimais ir atmosferoje, vadinasi, ten bus daug daugiau garų negu atitinka sočių garų stoviui esant atmosferos temperatūrai, garai bus persotinti, o tačiau lietaus nebus. Tokia padėtis atmosferoje gali susidaryti arba po ilgaus ir atkaklaus lietaus, kuris nuplauna iš atmosferos visas dulkes, arba kada ilgą laiką pučia vėjas iš tokių sričių, kur nėra dulkių, taip kad dulkėtas oras pagaliau pasikeičia oru be dulkių. Tokiais atvejais nepaisant daugybės garų ore, nepaisant didelio oro drėgnumo, ilgokai gali laikytis giedras oras, nes nėra gemalų, reikalingų rūkams ir debesims susidaryti.

Antrą vertus, mes žinome, kad lietingi metai būna ypatingai tada, kada ant saulės randasi ypatingai daug dėmių, taip kad maksimumas lietingumo visuomet supuola su saulės dėmių maksimumu. Šiandien manoma, kad saulės dėmės yra ne kas kita, kaip milžiniški įdubimai ant saulės, kurie susidaro kaipo padarinys galingų sprogimų, o šie išmeta saulės medžiagą pavidalu smulkiausių dulkių per šimtą tūkstančių kilm. į erdvę. Tos saulės dulkės kartu su jonais, varomos saulės spindulių spaudimo, pasiekia žemės atmosferą ir sudaro ten pakankamai gemalų, kad pašalintų persotinto garų stovio galimumą, ypač, kad patekę į atmosferą elektronai jonizuoja dar orą.

Smarkios vulkanų erupcijos bet kurioje žemės srityje, kaip, pavyzdžiui, erupcija vulkano Krakatau, Zondo archipelage, 1883 m., išmeta daugybę smulkių dulkių į atmosferą dažnai iki keleto kilometrų augščio. Tos dulkės kybo augštuose atmosferos sluogsniuose ir pamaži skleidžiasi visoj atmosferoj. Taigi tos dulkės irgi palengvina garų kondensaciją, neprileisdamos, taip sakant, persotinto garų stovio, ir tokiais atvejais gangreit visur ant žemės būna gausingi lietūs.

Taigi į persotintą garų stovį reikia žiūrėti kaipo į stovį, panašų į persotintus skiedinius arba peršaldytus skystimus, vadinasi, kaipo į nepastovios pusiausvyros padėtį, kuri reikalinga yra mažiausio impulso, kad pereitų į pastovios pusiausvyros padėtį. Tokiu impulsu persotintiems garams būna mažos kietos dalelės, arba jonai, kurie žymiai palengvina garų kondensaciją. O prasidėjus kondensacijai vienoj vietoj,

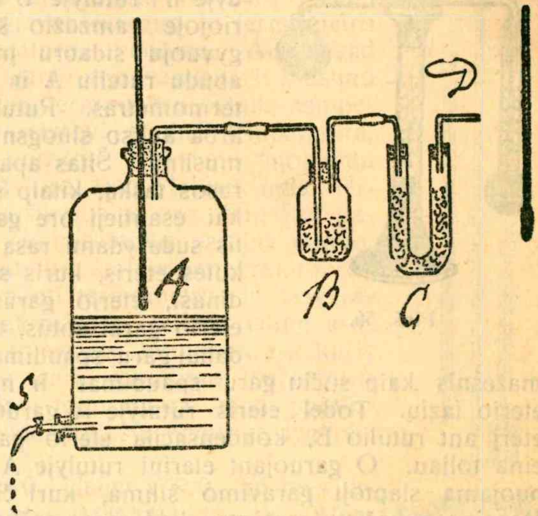
net vienam taške, kondensacijos procesas eina savaime toliau, kol susidaro pastovios pusiausvyros padėtis, vadinasi, kol susidaro abidvi fazės — skysta ir garų fazės. Teoretiškai kalbant, pakanka vienos kietos dalelės, arba net vieno jono, kad įnauguruotų kondensaciją. O prasidėjus tam procesui, jis eis toliau ta pačia prasme savaime.

Didesnis ar mažesnis vandens garų kiekis ore turi didelės reikšmės mūsų gyvenimui, nes nuo to garų kiekio pareina ne tik atmosferos nuosėdų gausingumas, bet ir visa eilė procesų, kaip, pavyzdžiui, eiga kai kurių chemijos reakcijų ir džiovinimo procesai, kuriais mes naudojamės įvairiose mūsų gamybos srityse. Apie didelę teoretinę reikšmę garų padalinimo atmosferoje, vadinamosios atmosferos fizikos pažinimui, arba metereologijai, neprisieina kalbėti. Taigi mes čia trumpai aprašysime svarbiausius metodus garų kiekiui atmosferoje nustatyti. Visas garų kiekis, kuris randasi 1 mtr.^{3} oro duotąja temperatūra, išreikštas gramais, fizikoje vadinasi absolutinis oro drėgnumas. Bet praktiškam gyvenime svarbu žinoti ne tiek tas absolutinis drėgnumas, kiek drėgnumo laipsnis, vadinasi, kaip toli faktiškas oro garų stovis randasi nuo sočių garų stovio, atsimenant, kad duotąja temperatūra tam pačiam tūry gali tilpti tik tam tikras garų kiekis, nepaisant to, ar tame tūryje yra tuštuma, ar randasi dar oras, arba aplamai bet kurių kitų dujų mišinys. Vasaros metu atmosferoje būna visuomet daug daugiau garų kaip žiemos metu, o tačiau iš prityrimo mes žinome, kad vasaros metu šlapi daiktai daug greičiau džiūsta kaip žiemos metu todel, kad augštesnė oro temperatūra vasaros metu reikalauja didesnio sočių garų spaudimo negu žiemos metu, ir, vadinasi, norint tam tikroje erdvės dalyje pasiekti sočių garų stovį vasaros metu reikalinga daug daugiau garų kaip žiemos metu. O garavimo greitumas tarp kita ko pareina nuo to, kiek dar garų gali tilpti duotame tūryje, pakol bus atsiektas sočių garų stovis. Kadangi vasaros metu faktiškas garų spaudimas yra visuomet žymiai toliau nuo sočių garų spaudimo kaip žiemos metu, tad garavimo procesai, ir, vadinasi, džiovinimas ir sausinimas eina daug greičiau kaip žiemos metu. Taip pat vasaros metu ne taip lengvai susidaro sočių garų stovis kaip žiemos metu, ir todel suprantama, kad žiemos metu drėgmenų (lietaus, sniego) būna daugiau kaip vasaros metu. Taigi praktiškam gyvenimui svarbu žinoti vadinamasis relatyvus oro drėgnumas.

Relatyvus atmosferos drėgnumas, arba atmosferos drėgnumo stovis, matuojamas santykiu faktiško garų kiekio viename oro kubiniame metre esant duotajai temperatūrai ir to garų kiekio, kuris reikalingas, kad, esant tai pačiai temperatūrai, garai 1 kub. mtr. būtų sotūs. Taigi šitas santykis bus dažniausiai trupmena, mažesnė kaip vienetas. Padauginus šitą trupmeną iš 100, relatyvus drėgnumas bus išreikštas nuošimčiais. Garų kiekis tūrio vienete yra ne kas kita, kaip garų tankumas, kuris nesimainant temperatūrai yra proporcingas garų spaudimui. Taigi užuot ieškojus garų kiekio galima nustatyti garų spaudimas tai ar kitai temperatūrai. Padalinus šitą spaudimą iš sočių garų spaudimo tąja pačia temperatūra, mes gausime irgi tą patį santykį, vadinasi, relatyvų drėgnumą. Pažymėsime čia dar, kad vandeniui garų spaudimo skaičiai mažai tesiskiria nuo skaičių, kuriais išreiškiami toms pačioms temperatūroms garų masės, arba tankumai. Tai aiškiai rodo ši lentelė:

Temperatūra	Sočių garų spaudimas mm. gyv. sidab.	Sočių garų masė 1 mtr.^{3} gr.
0^0	4,57	4,8
5^0	6,51	6,8
10_0	9,14	9,3
15^0	12,67	12,7
20^0	17,36	17,1
25^0	23,52	22,8
30^0	31,51	30,0
35^0	41,78	39,2
40^0	54,87	50,6

Norint surasti absolutinį atmosferos drėgnumą arba faktiną garų kiekį 1 mtr.^{3} vartojamas vadinamasis chemiškas higrometras (higrometrais aplamai vadinami aparatai oro drėgnumui nustatyti — nuo graikų žodžio „ὕγρος", kuris reiškia drėgnas). 55 piešinys rodo, kad tas higrometras susideda iš aspiratoriaus A (Mariott'o bonkos) su termometru, kuris stiklo vamzdžio pagalba sujungtas su bonką B daugiau kaip iki pusės pripildyta fosforo pentoksidu, sumaišytu su sugrūstu stiklu. Bonka B užkimšta kamščiu, per kurį eina stiklo vamzdis, jungiantis ją su aspiratorium. Tas vamzdis nueina gangreit iki bonkos dugno. Per tą patį bonkos B kamštį iškištas kitas sulenktas stiklo vamzdis, kuris jungia bonką B su U-pavidalo stiklo vamzdžiu C, kuris irgi pripildytas fosforo pentoksido, sumaišyto su sugrūstu stiklu. Atsvėrus vamzdį C ir sujungus jį su bonka B, atidaromas aspiratoriaus bėgtuvas S. Vanduo ima tekėti lėtos srovės pavidalu, ir oras ima eiti į aspiratorių per U-vamzdį C ir bonką B atiduodamas savo vandens garus fosforo pentoksidui vamzdžio C. Bonka B reikalinga čia tik tam, kad neleistų vandens garams iš aspiratoriaus A pasiekti U-vamzdį C, nes tuos vandens garus absorbuos fosforo pentoksidas bonkos B prieš jiems pasiekiant vamzdį C. Ištekėjus tam tikram vandens kiekiui iš aspiratoriaus A, bėgtuvas S uždaromas. Apie ištekėjusio vandens tūrį sprendžiama arba iš vandens lygio aspiratoriuj nupuolimo, jeigu aspiratorius graduotas, arba renkant ištekantį vandenį ir atsveriant jį. Aišku, kad bent apytikriai įsiurbtas į aspiratorių oro tūris ir, vadinasi, perėjęs per U-vamzdį C oro tūris bus lygus ištekėjusio vandens tūriui, kurį pažymėsime raide V cm.^{3} Sustabdžius aspiratoriaus veikimą, U-vamzdis C išjungiamas iš bonkos B, ant galų sulenktų stiklo vamzdelių, einančių per U-vamzdžio korkius, užmaunami kaučuko vamzdžiai, užkimšti trumpais stiklo kamščiukais, ir U-vamzdis C atsveriamas. Skirtumas tarp U-vamzdžio C svorio perleidus per jį orą ir prieš perleidžiant orą duos mums garų kiekį q (savaime suprantama, kad ir pirmą sykį sveriant U vamzdį C reikia ant galų sulenktų stiklo vamzdžių, einančių per jo kamščius, užmauti tie patys kaučuko kamščiai). Taigi absoliutinis oro drėgnumas bus $\frac{10^6 . q}{v} = m$. Čia V paimtas kub. cmtr., o drėgnumą mes išreiškiame gramais kub. mtr. Taigi garų kiekis 1 cm.^{3} reikia dar padauginti iš miliono (10^6), nes 1 mtr.^{3} yra lygus milionui cm.^{3}.

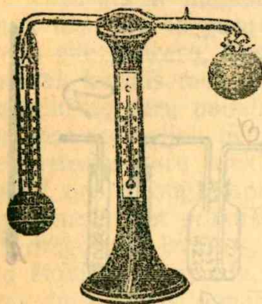


Pieš. 55.

O suradus absolutinį drėgnumą nesunku apskaityti relatyvus drėgnumas, pasinaudojus augščiau paduota lentele. Jeigu, pavyzdžiui, oro temperatūra darant bandymą buvo 20^0 (termometras iš dešinės 55 pieš. pusės rodo oro temperatūrą) ir rasta 12 gramų garų 1 kub. metre oro, tai relatyvus drėgnumas bus $\frac{12}{17,1} = 0,70$, arba 70 %, nes, esant garams sočiame stovyje ir temperatūrai 20^0, viename kub. mtr. randasi jų 17,1 gramų.

Norint gauti su chemišku higrometru tikslius rezultatus reikia turėti minty, kad oras aspiratoriuj A turės skirtingą temperatūrą kaip išorinis oras ir, be to, tas oras bus sotus garų, ir todel jo tūris bus ne toks kaip oro, kuris nėra sotus garų. Taigi šitos dvi aplinkybės yra klaidų priežastis, ir bandymo rezultatai reikalingi tam tikrų pataisų, norint gauti tikslų drėgnumo skaičių.

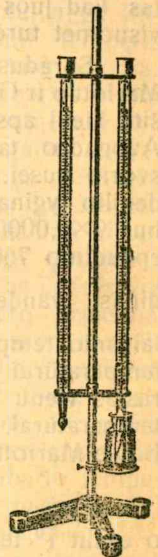
Drėgnumui nustatyti dažniau vartojamas Danielio higrometras, kurį atvaizduoja 56 piešinys. Jis susideda iš dviejų stiklo rutulių A ir B, kurie sujungti stiklo vamzdžiu, sulenktu dvigubai tiesiu kampu. Rutulys A daugiau kaip iki pusės pripiltas eterio ir per atdarą sulenkto vamzdžio šaką C oro siurblio pagalba išsiurbtas oras ir paskui vamzdžio šaka C užlydyta taip, kad viršum eterio vamzdyje ir rutulyje B randasi sotūs eterio garai. Be to, dar kairiojoje vamzdžio šakoje įdėtas termometras, kurio galas su gyvuoju sidabru įmerktas į eterį. Stiklo vamzdis, jungiantis abudu rutuliu A ir B, įdėtas į štatyvą, ant kurio randasi irgi termometras. Rutulys A per vidurį aprūpintas plonu sidabro arba aukso sluogsniu juostos pavidalu. O rutulys B aprištas mūslinu. Šitas aparatas duoda galimumo surasti vadinamąjį rasos tašką, kitaip sakant, tą temperatūrą, esant kuriai faktiškai esantieji ore garai pasiekia sotų stovį ir ima kondensuotis sudarydami rasą arba rūką. Ant rutulio B pilamas iš bonkutės eteris, kuris smarkiai garuodamas vėsina rutulį B ir, vadinasi, eterio garus tame rutulyje. Kadangi tame rutulyje eterio garai sotūs, tai jie ima kondensuotis. O susikondensavus daliai garų, spaudimas eterio garų vamzdyje ir rutulyje B darosi mažesnis kaip sočių garų spaudimas, ir nyksta pusiausvyra tarp skystos ir garinės eterio fazių. Todel eteris rutulyje A garuoja ir pusiausvyra atsistato. Pilant toliau eterį ant rutulio B, kondensacija eterio garų rutuly B ir eterio garavimas rutuly A eina toliau. O garuojant eteriui rutulyje A jo temperatūra puola žemyn, nes absorbuojama slaptoji garavimo šilima, kuri čia semiama, taip sakant, iš paties eterio. Mes jau anksčiau matėme, kad rasos tašką, arba kondensacijos tašką, esančių ore garų galima pasiekti arba spaudžiant mišinį oro ir garų arba žeminant temperatūrą. Taigi vėstant rutuliui A, vėsta ir oras apie jį, ir pagaliau pasiekus rasos temperatūrą ima kondensuotis oro garai ant rutulio A paviršiaus. Sidabro arba aukso juosta ant rutulio palengvina pagauti tą momentą, kada atsiranda rasa, nes aukso juosta nustoja blizgėjus. Pastebėjus tai reikia atskaityti termometras rutulio A. Tegu tai bus $9{,}5^0$. Norint tiksliau nustatyti šitą rasos tašką nustojama pilti eteris ant rutulio B. Rutulys A nustoja tada vėsti, ir greitai rasa ant aukso juostos išnyksta. Reikia pastebėti ir šitą momentą ir atskaityti termometrą rutulio A. Tegu tai bus $10{,}5^0$. Tai bus rasos išnykimo temperatūra. Del rasos taško imamas aritmetinis vidurys iš tų dviejų temperatūrų, vadinasi, $\frac{9{,}5 + 10{,}5}{2} = 10^0$. Iš augščiau paduotos lentelės mes rasime, kad sočių garų spaudimas esant 10^0 temperatūrai bus 9,14 mm. Bet garų spaudimas apie rutulį A pasirodžius rasos taškui bus tas pats kaip kambary, kuriame daromas bandymas, nes mes pasiekiame rasos tašką, žemindami temperatūrą, bet nemainydami spaudimo. Taigi faktiškai esančių ore garų spaudimas bus 9,14 mm. Atskaičius temperatūrą rutulio A reikia atskaityti ir oro temperatūrą antrojo termometro pagalba, kuris randasi ant štatyvo. Tegu ta temperatūra bus 15^0. Žinodami šitą oro temperatūrą mes galime surasti augščiau paduotos lentelės pagalba, koksai būtų garų spaudimas, jeigu jie esant 15^0 temperatūrai būtų sotūs. Tai būtų 12,67. Vadinasi, relatyvus drėgnumas šituo atveju bus $\frac{9{,}14}{12{,}67} = 0{,}72$, arba 72 %.



Pieš. 56.

Danielio higrometras neduoda tokiu tikslių rezultatų kaip chemiškas higrometras, bet turi tą patogumą, kad juo galima greitai surasti drėgnumą. Danielio higrometro netikslumo priežastys šios: 1) sunku reguliuoti rutulio A atvėsimo greitumą; 2) temperatūra viduj rutulio A niekuomet nėra lygi to rutulio išorinio paviršiaus temperatūrai del stiklo blogo šilimos laidumo. Vadinasi, atskaityta rasos temperatūra visuomet bus kiek žemesnė kaip reikia; 3) nelengva pastebėti rasos apsireiškimą, ir pagaliau 4) stebėtojas randasi arti nuo aparato ir savo kvėpavimu keičia higrometrinį atmosferos stovį.

Aprašysime čia dar sauso ir drėgno termometro higrometrą, kuris vadinasi Augusto psichrometras (žiūr. 57 pieš.). Jį sudaro 2 termometrai, padalinti bent į dešimtąsias grado dalis ir pakabinti ant to paties štatyvo. Vieno termometro rutulys aprištas mūslinu, kurio galas suvyniotas degto pavidalu. Tas galas įmerkiamas į puodelį su vandeniu ir kaip degtas čiulpia vandenį (vanduo kįla tarp degto pluoštų augštyn del priežasties kapilarinių jėgų veikimo). Taigi termometro galas darosi šlapias. Kadangi vanduo nuo to termometro galo garuoja, tai termometras rodo temperatūros puolimą. Aišku, kad juo mažiau bus ore garų, juo greičiau eis garavimas vandens iš mūslino apie termometrą ir juo smarkiau puls žemyn termometro rutulio temperatūra ir atbulai. Bet pagaliau nusistatys pastovi statinė temperatūra, kas įvyks tada, kada termometro šilimos nuostolis kiekvienu momentu bus kompensuojamas šilimos tekėjimu iš oro (juo labiau puls termometro temperatūra, juo daugiau pritekės šilimos iš oro, taip kad pagaliau bus atsiektas statinis stovis). Šitas statinis stovis pareina nuo to, ar oras parimęs ar juda. Kad tiksliau nustatytum statinę temperatūrą, reikia kartas po karto pakėlus štatyvą pasvyruoti termometrus ir pasvyravus atskaityti temperatūrą. Iš eilės tokių atskaitymų reikia paimti aritmetinis vidurys. Be to, reikia atskaityti ir sausas termometras, kuris rodo oro temperatūrą. Čia santykiai oro garų spaudimo, barometro spaudimo ir sočių garų spaudimo apie šlapią termometrą gana painūs. Bet nesiekiant didelių tikslumų galima pasinaudoti šia empirine lygtimi: $p = p^1 - 0{,}00080\ b\ (t - t^1)$.


Pieš. 57.

Duota čia lygtis veikia tada, kada $t' > 0$. Jeigu $t' < 0$, tad mes turime lygtį su kita konstanta, būtent, $p = p' - 0{,}00069\ b\ (t - t')$. Abiejose šitose lygtyse p reiškia ieškomą vandens garų spaudimą ore, p' — sočių garų spaudimą esant šlapio termometro temperatūrai, b — barometro parodymas, t — sauso termometro temperatūra ir t' — šlapio termometro temperatūra. Tegu, pavyzdžiui, šlapias termometras rodo temperatūrą 13^0 C, o sausas 15^0, o barometras rodo spaudimą 760 mm. Naudodamies pirma lygtimi vandens garų spaudimo ore gausime $p = 11{,}26 - 0{,}0008 . 760 . 2 = 10{,}04$. Čia p' paimta iš garų spaudimo lentelės skaičius, atitinkąs temperatūrai 13^0 C (vadinasi, sočių garų spaudimas esant 13^0). Kadangi kambario temperatūra, kurią rodo sausas termometras, 15^0, o sočių garų spaudimas esant 15^0 bus 12,67 (žiūr. augščiau paduotą lentelę), tai relatyvus drėgnumas, arba atmosferos drėgnumo stovis, bus $\frac{10{,}04}{12{,}67} = 0{,}80$, kitaip sakant, 80%.

Labai dažnai, naudojantis šitomis lygtimis, galima gauti pakankamai gerus rezultatus, imant domėn vidutinį atmosferos spaudimą 750 mm. Tad pirmoji lygtis įgauna pavidalą $p = p' - 0{,}60\ (t - t')$, o antroji $p = p' - 0{,}52\ (t - t')$. Bet kadangi šitos lygtys empirinės ir, vadinasi, neišreiškia matematiškai tiksliai ryšių tarp veikiančių čia veiksnių, kaip antai, atmosferos spaudimas, oro judėjimas, garų spaudimas ir temperatūra, tai labai dažnai, nustatant atmosferos drėgnumo stovį, psichrometro Augusto pagalba naudojamasi tam tikromis lentelėmis, specialiai šitam psichrometrui sustatytomis.

Trumpai pažymėsime čia dar, kad praktikoje oro drėgnumui nustatyti dažnai vartojami vadinamieji higroskopai, kurie visi remiasi tuo, kad kai kurie chemijos junginiai, lygiai kaip ir pluoštinė medžiaga, smarkiai absorbuoja drėgnumą (priklauso prie vadinamosios higroskopiškos medžiagos) ir keičia savo tūrį ir formą. Taip, pavyzdžiui, pakabinę ant vieno jautrių svarstyklių naščių peties sugeriamojo popieriaus gabaliuką ir nusvėrę jį svareliais, mes pastebėsime, kad augant oro drėgnumui tas gabaliukas darosi sunkesnis, ir atbulai, darosi lengvesnis, kada ore esti mažiau garų. Bet dažniau vartojamas vadinamasis plauko higroskopas. Paėmus, sakysime, žmogaus plauką ir paliuosavus jį ekstraguojant eteriu nuo prakaito ir kitų riebalų, susuksime jį spyruoklio pavidalu, prijungsime vieną jo galą prie ciferblato centro, o kitą galą sujungsime su rodyklio ašimi taip, kaip tai daroma barometruose - aneroiduose.

Absorbuojant drėgnumą plauko spyruoklis del priežasties tūrio didėjimo stengsis išsivynioti ir varys rodyklį, sakysime, į dešinę pusę, mažėjant drėgnumui plauko spyruoklis trauksis ir varys rodiklį į kitą pusę. Aprūpinus ciferblatą cifromis, atitinkančiomis įvairiems drėgnumo laipsniams, toksai higroskopas duos galimumo greitai ir patogiai surasti atmosferos drėgnumo stovį. Patogumas tokių higroskopų yra dar tas, kad juos galima pagaminti tokio didumo kaip kišeniniai laikrodžiai ir, vadinasi, visuomet turėti prie savęs.

Suradus vienu iš nurodytų būdų faktišką garų spaudimą ore, galima, einant Boyle-Mariott'o ir Gay-Lussac'o dėsniais, apskaityti garų kiekis 1 metr.^{3} oro, ir atbulai, žinant šitą kiekį apskaityti atitinkamas jam spaudimas. Vandens molekulos svoris 18. Einant Avogadro taisykle garų ir dujų tankumas vandenilio atžvilgiu yra lygus molekulos svorio pusei. Taigi vandens garų tankumas vandenilio atžvilgiu bus 9. Kadangi vandenilio lyginamasai svoris (arba tankumas) yra 0,0000897, tai vandens garų tankumas bus $9 \times 0{,}0000897$ (tai bus 1 cm.^{3} vandens garų svoris nulio laipsnio temperatūra ir spaudimo 760 mm.). 1 cm.^{3} oro tomis pačiomis sąlygomis sveria 0,001293 gramų. Vadinasi, vandens garų lyginamasai svoris oro atžvilgiu bus $\frac{9 . 0{,}0000\,897}{0{,}001293} = 0{,}622$ nulio laipsnio temperatūra ir spaudimo 760 mm., kitaip sakant, 1 mtr.^{3} vandens garų, esant temperatūrai 0^0 ir spaudimui 760 mm., sveria $0{,}622 . 0{,}001293 . 10^6$ gramų. Tegu surastas vienu iš augščiau nurodytų būdų faktiškas garų spaudimas ore bus p esant t^0 temperatūrai. Tai tų garų svoris nulio laipsnio temperatūra ir spaudimu p, einant Boyle-Mariott'o dėsniu, bus

$$\frac{0{,}622 . 0{,}001293 . 10^6 . p}{760},$$

o esant t^0 temperatūrai, einant Gay-Lussac'o dėsniu, bus

$$\frac{0{,}622 . 0{,}001293 . 10^6 . p}{760\,(1 + 0{,}00367\,t)}.$$

Tai ir bus garų kiekis gramais 1 kub. mtr. oro t^0 temperatūra esant tų garų spaudimui p mm. Pažymėsime šitą kiekį raide q. Padarius reikalingus veiksmus gausime garų kiekiui šią suprastintą formulą:

$$q = \frac{1{,}058\, p}{1 + 0{,}00367\, t} \text{(gr.)}.$$

Iš čia p (faktiškas garų spaudimas) =

$$= \frac{q\,(1 + 0{,}00367\,t)}{1{,}058}, \text{ arba } = 0{,}945\, q\,(1 + 0{,}00367\, t).$$

Sita paskutine lygtimi galima pasinaudoti norint apskaityti faktišką garų spaudimą, kada chemišku higrometru surastas garų kiekis q viename kub. mtr. oro.

15 §. Virimas ir normalinė virimo temperatūra. Slaptoji virimo šilima. Pareinà virimo temperatūros nuo spaudimo. Vandens plaktukas. Papin'o katilas. Perkaitinti skysčiai. Garų katilų sprogimo priežastys. Sferoidinis būvis. Žemų temperatūrų gavimas garavimo ir virimo pagalba. Krioforas.

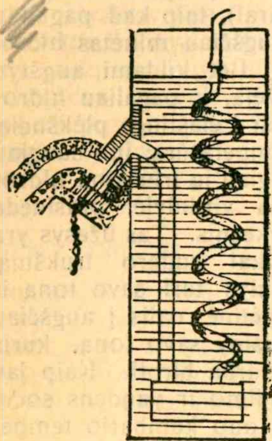
Kiekvienas žino, kad, paėmus šildyti šaltą vandenį, iš jo tuojau ima veržtis oro burbulai, ir juo smarkiau, juo karštesnis vanduo. Šitas reiškinys galima gerai sekti paėmus stiklo kolbą su tyru vandeniu, įdėjus ją į štatyvo spaustuvus ir šildant iš apačios Bunseno arba spirito lempos pagalba. Priimsime, kad ištirpintas vandeny oras (arba bet kurios kitos dujos) dalinai randasi pavidalu mikroskopiškų burbuliukų, o kiekvienas burbuliukas, kaip mes jau žinome iš aprašymo paviršiaus įtempimo reiškinių, susideda iš ploniausios skysčio plėkšnelės rutuliuko pavidalo, kurio turinį sudaro oro ir sočių garų mišinys. Šitie mikroskopiški oro burbuliukai spaudžiami hidrostatiniu spaudimu, kuris susideda iš atmosferos spaudimo plus skysčio stulpo spaudimas, skaitant nuo skysčio paviršiaus (tiksliai kalbant, plus dar normalinis skystos burbuliuko plėkšnelės

spaudimas, kuris mikroskopiškiems burbuliukams yra labai didelis, bet šitą spaudimą mes pakol kas eleminuosime iš savo samprotavimų, turėdami pirmiausia omeny didesnius nemikroskopiškus burbuliukus, kurie irgi visuomet pakankamame skaičiuje randasi šaltam vandeny, nors jie ir nematomi). Taigi šildant kolbą tie burbuliukai skečiasi, ir jų vidujinis spaudimas p, kuris susideda iš jų oro spaudimo ir jų sočių garų spaudimo (vadinasi, $p = p_{oro} + p_{garų}$), einant Gay-Lussac'o dėsniu, auga (tuo pačiu laiku tų burbuliukų skystos plėkšnelės normalinis spaudimas, kįlant temperatūrai, mažėja, nes paviršiaus įtempimas mažėja kįlant temperatūrai), taip kad pagaliau tų burbuliukų spaudimas gali pasidaryti truputį didesnis kaip augščiau minėtas hidrostatinis spaudimas. Tada tokie burbuliukai ima kilti augštyn. Bet kildami augštyn jie patenka į šaltesnius skystimo sluogsnius, jų spaudimas mažėja, ir pagaliau hidrostatinis spaudimas juos sutriuškina. Kadangi jų plėkšnelė panaši į elastingą plėkšnelę, tai jiems sprogstant darosi trukšmas. Juo augštesnė vandens temperatūra, juo daugiau darosi tokių burbuliukų, juo augščiau jie gali pakilti ir juo daugiau jų triuškina hidrostatinis spaudimas. Visi žino, kad šildant vandenį katile, arba virdulyje, prasideda ūžesys, kuris darosi, kįlant temperatūrai, vis smarkesnis ir smarkesnis. Tas ūžesys yra daugybės burbuliukų sprogimo išdava. Sprogdami burbuliukai sudaro trukšmą. Trukšmas susideda iš daugybės įvairių tonų, katilas arba virdulys turi savo toną ir ima atsiliepti (rezonuoti) į tą savo toną, kuris įeina kaipo sudėtinė dalis į augščiau nurodytą tonų mišinį. Rezonuodamas katilas stiprina tame mišiny savo toną, kuris vėl stiprina katilo toną, taip kad katilas iš tikrųjų ima dainuoti arba birbti. Kaip jau anksčiau pasakyta, spaudimas tų burbulų susideda iš oro spaudimo ir vandens sočių garų spaudimo. Iš pradžios, pakol temperatūra mažai skiriasi nuo kambario temperatūros, didžiąją to spaudimo dalį sudaro burbuliukų oras ir žymiai mažesnę dalį sotūs vandens garai. Pavyzdžiui, kada vandens temperatūra kolboje pasiekia 50^0, vandens sočių garų spaudimas tuose burbuliukuose bus 90 mm. (parcialinis garų spaudimas). Vadinasi, burbuliuko oro spaudimas bus $760 - 90 = 670$ mm. Bet jau prie 90^0 parcialinis sočių garų spaudimas 525 mm., o oro spaudimas 235 mm. Taigi kįlant temperatūrai augštyn sočių garų spaudimas sudaro vis didesnę ir didesnę dalį viso burbuliuko spaudimo ir, vadinasi, tokie burbuliukai didžiąja savo dalimi susideda iš vandens sočių garų ir tik maža dalimi iš oro. Vadinasi, jeigu reikalinga daug oro ir maža garų, kad susidarytų burbuliukas pradėjus šildyti vandenį, tai pakilus vandens temperatūrai tiek, kad burbuliuko spaudimas darosi gangreit lygus ir net truputį didesnis kaip išorinis hidrostatinis spaudimas, reikalinga labai mažai oro (arba bet kurių kitų dujų), kad susidarytų didelis burbulas, kuris, galima sakyti, susideda iš garų. Kįlant temperatūrai ir augant burbulų skaičiui, eina stropus vandens maišymas, taip kad temperatūra visoj skystimo masėj vis labiau ir labiau išsilygina dėka konvekcijos. Be to dar, temperatūros išsilyginimas vyksta kaipo padarinys slaptos garavimo šilimos, kuri pasiliuosuoja kada burbulų garai pakilę į augštesnius ir šaltesnius skystimo sluogsnius kondensuojasi. Del priežasties šito temperatūros išsilyginimo garavimas vyksta ne tik tose skystimo vietose, kurios arčiau prie liepsnos, bet per visą skystimo masę. Kada burbulų garų spaudimas visoj skystimo masėj plus spaudimas mažiausių likučių oro burbuluose darosi truputį didesnis kaip išorinis atmosferos spaudimas, tai burbulų darosi didelis skaičius visuose skystimo sluogsniuose, ir mes sakome, kad skystimas verda. Pradėjus virti ūžimas aprimsta, nes dabar burbulai sprogsta be didelio trukšmo del sumažėjimo burbulo plėkšnelės paviršiaus įtempimo.

Jeigu pradėjus vandeniui, ar kitam kuriam skystimui, virti mes padidinsime liepsną ir teiksime vandeniui daugiau šilimos stengdamiesi pakelti vandens temperatūrą, tai pagreitinsime tik garavimą, vadinasi, padidinsime garų burbulų skaičių įvairiuose vandens sluogsniuose, bet nepakelsime temperatūros, nes virstant garais didesniam vandens kiekiui bus atitinkamai daugiau absorbuojama slaptosios virimo šilimos. Taigi didinant liepsną virimas pasidarys labai audringas ir vėl trukšmingas, bet temperatūra pasiliks be atmainos, ir ta temperatūra laikysis pakol kolboje bus nors vienas lašas skysto vandens.

Temperatūra, prie kurios skystimas verda esant normaliniam atmosferos spaudimui, vadinasi normalinė virimo temperatūra. Taip normalinė vandens virimo temperatūra 100° C, alkoholio 78° C, eterio 35° C, gyvojo sidabro 360° C, sieros 445° C ir t. t. Vadinasi, visų tų medžiagų sočių garų spaudimas yra lygus 1 atmosferai esant augščiau nurodytoms temperatūroms.

Taigi virimas skiriasi nuo garavimo tuo, kad garavimas vyksta nuo skystimo paviršiaus, o verdant garavimas vyksta visoj skystimo masėj, vadinasi, nuo smarkiai padidinto paviršiaus. Be to, garavimas vyksta nematomai, o garų burbulus verdant mes matome. Pagaliau garavimas eina esant sočių garų spaudimui mažesniam kaip išorinis hidrostatinis spaudimas. O virimas teprasideda tik tada, kada sočių garų spaudimas darosi truputį didesnis kaip išorinis hidrostatinis spaudimas.



Pieš. 58.

Kaip garavimas, taip ir virimas (kitaip sakant, greitas ir trukšmingas garavimas burbulais) yra surišti su absorpcija didesnio arba mažesnio slaptosios garavimo šilimos kiekio. Jau anksčiau nurodyta, kokį išorinį ir vidujinį darbą atlieka šita slaptoji garavimo arba virimo šilima. Čionai mes aprašysime tik vieną iš metodų slaptajai virimo šilimai surasti.

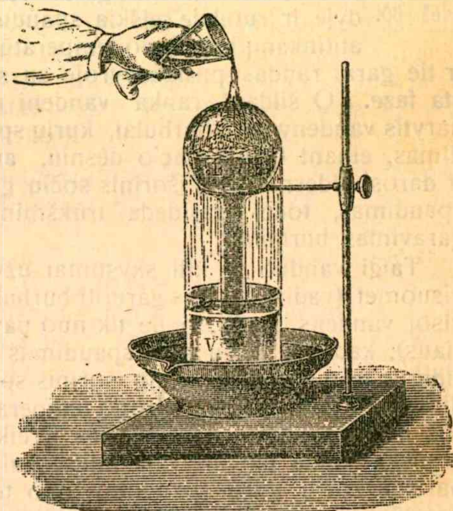
58 piešinys atvaizduoja aparatą, kuris vartojamas slaptajai virimo šilimai surasti. Jį sudaro vandens kalorimetras, į kurį įdėta metalinė dėžė. Į tą dėžę aklai įkištas vienas galas varinio, arba dar geriau iš platinos, vynioklio, arba žalčio. Kitas to vynioklio galas išeina iš kalorimetro laukan ir atdaras. Be to, iš kairės pusės kalorimetro, netoli nuo jo viršaus, randasi skylė. Prie tos skylės iš vidaus kalorimetro aklai sraigtais pritrauktas sulenktas metalinis vamzdis, kurio apatinis galas aklai įeina į metalinę dėžę kalorimetro apačioj. Prie tos pačios skylės iš oro kalorimetro pritrauktas metalinis arba stiklinis garų vamzdis (piešinys atvaizduoja tik dalį šito garų vamzdžio), kurio kitas galas sujungtas su garų katilu arba su indu, kuriame verda vanduo ar kitas kuris skystimas. Šitas vamzdis atlenktas žemyn, kad susikondensavę garai kristų atgal į katilą arba į indą su verdančiu skystimu ir negalėtų patekti į dėžę kalorimetro apačioj. Garų vamzdis apvyniotas metaliniu vamzdžiu pavidalu vynioklio ir apklotas storu sluogsniu izoluojančios medžiagos. Per šitą vamzdžio vynioklį leidžiami garai verdančio bandomojo skystimo iš to paties katilo, į kurį tas garų vamzdis įleistas, arba iš atskiro indo. Šita priemonė reikalinga tam, kad temperatūra per visą garų vamzdį būtų tikrai verdančio skystimo garų temperatūra ir, vadinasi, kad į atlenktą žemyn kalorimetro vamzdį ir į dėžę kalorimetro apačioj patektų garai esant virimo temperatūrai. Izolacija garų vamzdžio reikalinga pasiekti tam pačiam tikslui. Iš piešinio dar matyti, kad į garų vamzdį arti prie tos vietos, kur prie garų vamzdžio prijungtas užlenktas, arba atlenktas, žemyn kalorimetro vamzdis, įdėtas elektros termometras įeinančių į kalorimetro vamzdį garų temperatūrai kontroliuoti. Dėka šitų priemonių į kalorimetro vamzdį ir, vadinasi, į dėžę kalorimetro apačioj gali patekti tiktai garai ir tik tesant virimo temperatūrai. Tegu kalorimetro vandens masė bus M gr., o jo vandeninis ekvivalentas W, ir tegu dėžėje kalorimetro apačioj susitaupo m gr. vandens. Šitą vandens kiekį, kuris susidaro iš susikondensavusių garų, galima nustatyti atsvėrus dėžę su įdėtu į ją vamzdžiu ir vynioklių prieš bandymą ir po bandymo. Skirtumas šitų abiejų svorių ir bus susikondensavusio vandens svoris, nes ar garai jau dalinai susikondensuos atlenktame žemyn vamzdyje, ar jie dalinai susikondensuos vynioklyje, vistiek jie nutekės kaip skystas vanduo į dėžę. Pažymėsime dabar kalorimetro pradžios temperatūrą raide t_0 ir galutinę temperatūrą raide t_1, padarę visas reikalingas pataisas toms temperatūroms del radiacijos, kaip jau aprašyta kalorimetrijos skyriuje. Pagaliau pažymėsime slaptąją virimo šilimą raide q (tai šilimos kiekis, reikalingas tam, kad 1 gr. skysto vandens 100° temperatūra paversti 1 gr. garų tąja pačia temperatūra).

m gramų vandens kalorimetro dėžėje susidarė iš m gr. garų, ir todel šitas procesas paliuosavo mq kalorijų, kurios ir teko kalorimetro vandeniui, kalorimetro indui, vamzdžiui, dėžei ir vyniokliui. Susikondensavę garai atvėso nuo virimo temperatūros 100^0 iki galutinės temperatūros t_1. Taigi tuo būdu kalorimetrui dar buvo atiduota m $(100 - t_1)$ kalorijų. Temperatūra kalorimetro su jo dalimis ir vandeniu pakilo nuo t_0 iki t_1, vadinasi, įgytas kalorimetro ir vandens kalorijų skaičius bus

$$(M + W)(t_1 - t_0).$$

Taigi mes turime lygtį $m[q + 100 - t_1] = (M + W)(t_1 - t_0)$, iš kur ir surasime q. Tuo būdu nustatyta, kad slaptoji vandens virimo šilima esant 100^0 temperatūrai yra lygi 536,63 kalorijų skaitant 1 gr.; slaptoji alkoholio virimo šilima esant 78^0 C temperatūrai — 206 kalorijos; slaptoji eterio virimo šilima esant 35^0 temperatūrai — 90 kalorijų; slaptoji gyvojo sidabro virimo šilima esant 360^0 temperatūrai — 62 kalorijos ir t. t.

Kadangi pereinant iš skysto stovio į garų stovį tąja pačia temperatūra smarkiai mainosi tūris, pavyzdžiui, 1 gr. vandens esant 100^0 temperatūrai užima tūrį 1700 sykių mažesnį kaip 1 gr. vandens garų tąja pačia temperatūra, tai aišku, kad virimo temperatūra pareina nuo išorinio spaudimo ir daug labiau pareina kaip tirpimo temperatūra, nes pereinant iš skystos fazės į garų fazę tūrio padidėjimas yra žymiai didesnis kaip pereinant iš kietos fazės į skystą fazę. Pritaikindami jau augščiau paduotą Le-Chatelier taisyklę mes prieisime prie išvados, kad didindami išorinį spaudimą mes pakelsime virimo temperatūrą, ir atbulai, mažindami išorinį spaudimą mes nukrėsime virimo temperatūrą. Taigi išeina, kad tas arba kitas skystimas gali virti esant įvairioms temperatūroms, vadinasi, charakterizuojamas daugybe virimo temperatūrų. Galima šiuo eksperimentu ryškiai demonstruoti, kad vanduo verda esant žymiai žemesnėms temperatūroms kaip 100^0 C, ir net esant kambario temperatūrai, padarius išorinį spaudimą į vandenį mažesnį kaip atmosferos spaudimas. Paimsime stiklo kolbą ir pripilsime ją daugiau kaip ligi pusės vandens. Užvirinsime šitą vandenį ir palaikysime verdančiam stovy valandos ketvirtį arba daugiau, kad išeitų iš vandens oro dauguma. Užkimšime dabar aklai kamščiu kolbą, apversime ją kaklu žemyn ir įdėsime į štatyvą, kaip rodo 59 piešinys. Vanduo dabar kolboje vėsta, temperatūra eina žemyn, vėsta ir sotūs garai susitaupę viršum vandens kolboje, bet daug greičiau kaip vanduo del priežasties žymiai mažesnės garų masės kaip vandens masė. Jeigu mes dabar paėmę šlapią kempinę išspausime iš jos vandenį ant kolbos dugno, tai tas vanduo daug smarkiau atvėsins garus kaip vandenį kolboje. Dalis sočių garų susikondensuos ir, vadinasi, garų spaudimas kolboje sumažės. O sumažėjus tam garų spaudimui sumažės ir spaudimas, kuris veikia skystą vandenį. Vanduo ims virti: iš jo kils garų burbulai, ir tas procesas tęsis patol, pakol sočių garų spaudimas viršum vandens kolboje pasidarys lygus burbulų garų spaudimui, kurie darosi vandeny. Bet vandens virimą vėl galima sukelti, jeigu vėl pašlakstyti šaltu vandeniu kolbos dugną, ir tokį vandens virimą galima sukelti net tada, kada jau vanduo bus atvėsęs iki kambario temperatūros.



Pieš. 59.

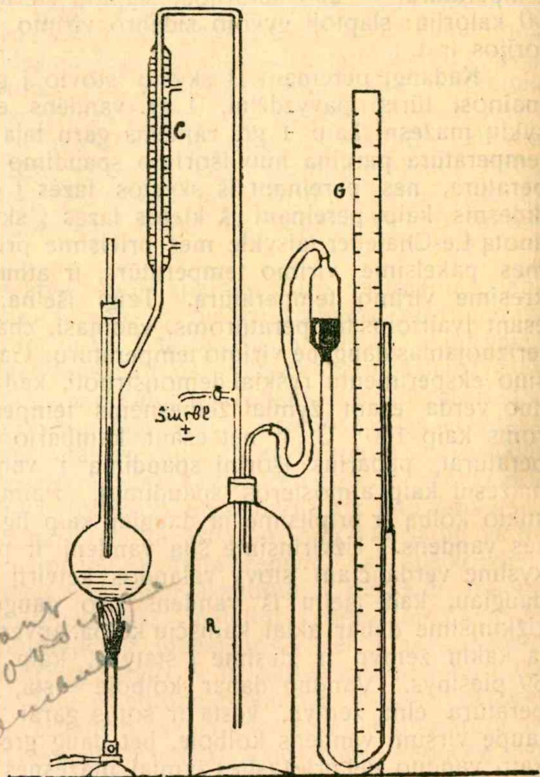
Dar ryškiau vandens virimą esant įvairioms temperatūroms galima demonstruoti oro siurblio pagalba. Pripilsime nedidelę stiklinę vandens, padėsime ją ant oro siurblio lėkštės ir užvošime gaubtuvu. Jeigu mes turime vandenį 20^0 temperatūra, tai išsiurbus iš po gaubtuvo orą taip, kad jo spaudimas po gaubtuvu pasidarytų truputį mažesnis kaip vandens sočių garų spaudimas esant 20^0 temperatūrai, vadinasi, mažesnis kaip

17,4 mm., vanduo stiklinėje ims virti, iš vandens veršis daugybė burbulų. Jeigu mes padėsime po siurblio gaubtuvu stiklinę su vandeniu, atšaldytu ligi temperatūros 0⁰, tai ir šitas šaltas vanduo ims virti iševakuavus iš po gaubtuvo orą, taip kad jo spaudimas pasidarytų mažesnis kaip 4,6 mm.

Pagaliau virimą, kai esti paprasta kambario temperatūra, galima demonstruoti vadinamojo vandens plaktuko pagalba (60 pieš.). Tai yra stiklo vamzdis nuo 1,5 iki 2 cm. diametro ir apie 30 cm. ilgio, kurio vienas galas išpūstas pavidalu rutulio, sujungto su vamzdžio siauru kaklu. Vamzdis iki $^1/_3$ savo tūrio dalies pripilamas vandens ir, užvirinus šitą vandenį, išvaromas iš šito vamzdžio oras, o rutulio galas užlydomas. Taigi tokiam vamzdy mes turime vandenį su likučiais oro jame, kontakte su sočiais garais. Jeigu dabar, pastatę vamzdį rutuliu augštyn, nuleisime vandenį į vamzdį paliekant rutuly nedaug vandens, ir apžiaubsime ranka tą vamzdžio dalį, kur randasi vanduo, tai per susiaurintą kaklą į rutulį ima veržtis burbulai ir taip smarkiai, jog kiekvienas burbulas sprogdamas sudaro, taip sakant, atatranką, taip kad, jeigu vamzdžio galas atremtas į stalą, vamzdis aiškiai beldžia. Dalykas tas, kad sotūs vandens garai vamzdyje ir rutulyje reiškia spaudimą, atitinkantį kambario temperatūrai, ir tie garai randasi pusiausvyroje su skysta faze. O šildant ranka vandenį ima darytis vandeny garų burbulai, kurių spaudimas, einant Gay-Lusac'o dėsniu, auga ir darosi didesnis kaip išorinis sočių garų spaudimas, todel prasideda trukšmingas garavimas burbulais.


Pieš. 60.

Taigi vanduo ir kiti skystimai užvirs visuomet (vadinasi, ims garuoti burbulais visoj vandens masėj, o ne tik nuo paviršiaus), kada jų sočių garų spaudimas pasidarys truputį didesnis kaip išorinis spaudimas. Kitaip sakant, virimo temperatūros nuo spaudimo pareinà bus išreikšta grafiškai tokia pat kreivąja linija, kaip ir pareinà sočių garų spaudimo nuo temperatūros (žiūr. 54 pieš.), nes jeigu tik išorinis hidrostatinis spaudimas duotąja temperatūra yra lygus sočių garų spaudimui tąja pačia temperatūra, tai skystimas ims virti esant tai temperatūrai, suteikiant jam tiek šilimos, kiek reikalinga norint paversti skystimą garais tąja pačia temperatūra.



Pieš. 61.

Aparatu, kurį atvaizduoja 61 piešinys, galima nustatyti vandens (arba bet kurio skystimo) virimo temperatūros esant įvairiems išoriniams spaudimams, kaip žemesniems taip ir augštesniems už normalinį atmosferos spaudimą. Mes čia turime distilacijos kolbą su ilgu kaklu. Nuo to kaklo vidurio eina vamzdis, kuris sujungiamas su Liebigo apverstu aušintuvu C (vadinasi, taip, kad verdančio skystimo garai eitų į tą aušintuvo vamzdžio galą, per kurį paprastai išeina destilatas). Kitas to aušintuvo vamzdžio galas sujungtas su vamzdžiu R, kuris įleistas į stiklo bonką gangreit iki tos bonkos dugno per skylę kaučuko kamščio, kuriuo ta bonka aklai užkimšta. Vamzdis R truputį augščiau bonkos kamščio turi šaką su bėgtuvu. Tos šakos pagalba galima bonka R sujungti su oro siurbliu. Pro kitą bonkos kamščio skylę įkištas trumpas

sulenktas stiklo vamzdis, kuris kaučuko vamzdžio pagalba sujungtas su gyvojo sidabro manometru G, kaip rodo piešinys. Destilacijos kolba iki $^1/_3$ dalies ar net iki $^1/_2$ pripilta gryno vandens ir aklai uždaryta kaučuko kamščiu, pro kurio skylę įkištas tikslus ir jautrus termometras taip, kad to termometro galas būtų augščiau kaip skystimo paviršius. Sujungus vamzdžio R išorinę šaką su oro siurbliu evakuosime iš bonkos R didžiąją dalį oro, sumažindami tuo būdu išorinį hidrostatinį spaudimą į vandenį destilacijos kolboje. Tą spaudimą mes atskaitysime ant manometro G (tas spaudimas lygus atmosferos spaudimui—skirtumas gyvojo sidabro stulpų augščių kairiojoje ir dešiniojoje manometro šakose). Pastačius dabar po kolbos apačia Bunseno lempą, vanduo ims virti, kaip tik jo sočių garų spaudimas pasidarys truputėlį didesnis, kaip tas manometro išorinis spaudimas.

Termometras kolboje rodys nuolatinę virimo temperatūrą, ir virimas visais atžvilgiais eis taip, kaip esant normaliniam atmosferos spaudimui. Vandens garai kondensuosis Liebigo aušintuvo vamzdyje ir skysto vandens lašų pavidalu varvės atgal į kolbą, taip kad bonkoje R, palyginti, bus mažai garų.

Darant tokį eksperimentą ir aplamai nustatant virimo temperatūras termometras niekuomet neturi liesti skystimo, ir visuomet tarp termometro galo ir skystimo turi būti tarpas, nes, kaip mes pamatysime, gali atsitikti skystimo perkaitinimas ir, vadinasi, termometras, kurio galas įleistas į skystimą, parodys ne tikrą virimo temperatūrą, bet augštesnę. Be, to, ant termometro galo gali susirinkti ir šiek tiek nešvarumų iš skystimo ir, vadinasi, termometras rodys tada ne verdančio skystimo temperatūrą, bet tų nešvarumų temperatūrą (reikia čia atsiminti, kokios reikšmės turi nevienodas įvairios medžiagos šilimos laidumas temperatūrų išsilyginimo procese). Tokiu atveju termometras nerodys nuolatinės temperatūros, bet gyvojo sidabro siūlas jame tai eis augštyn, tai slinks žemyn, vienu žodžiu, svyruos. O jeigu termometro galas randasi viršum skystimo paviršiaus to skystimo garuose, tai ant jo kondensuojasi gryno skystimo garai, ir tas plonas susikondensavusio skystimo sluogsnis turi tą pačią temperatūrą, kaip ir garai artimiausioje termometro galo aplinkoje.

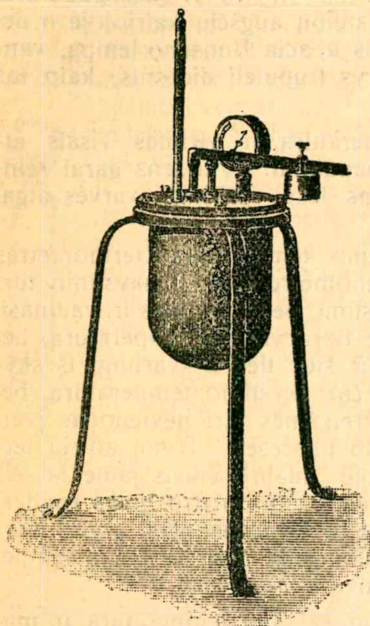
Įsitikinus, kad termometras rodo nuolatinę temperatūrą, šita temperatūra ir manometro parodymas registruojami ir, atidarius vamzdžio R šakos bėgtuvą, įleidžiama į bonką R porcija oro, ir tuo būdu padidinamas hidrostatinis spaudimas į skystimą destilacijos kolboje. Virimo reiškiniai tuojau nyksta, ir termometras ima kilti augštyn. Virimas vėl iš naujo prasidės, kai tik vandens sočių garų spaudimas vėl pasidarys truputį didesnis kaip išorinis spaudimas. Termometras tada vėl rodo nuolatinę virimo temperatūrą, bet jau augštesnę atitinkamai didesniam išoriniam spaudimui. Termometro ir manometro parodymai vėl registruojami, vėl į bonką R įleidžiama naujo oro, vėl laukiama, kol prasidės virimas, ir registruojama termometro ir manometro parodymai ir t. t. Kada manometras rodo atmosferos spaudimą, vanduo destilacijos bonkoje verda esant 100^0 temperatūrai.

Tuo pačiu aparatu galima nustatyti vandens virimo temperatūras ir spaudimams, didesniems kaip atmosferos spaudimas. Dabar reikia tik vamzdžio R šaką su bėgtuvu sujungti su tvenkinančiu siurbliu ir pumpuoti į bonką R orą, darant tokiu būdu hidrostatinį spaudimą į skystimą destilacijos kolboje didesnį kaip atmosferos spaudimas. Visa kas kita pasilieka kaip jau aprašyta. Tiktai reikia atsiminti, kad su stiklo aparatais galima tas spaudimas kelti iki 2, daugiausia iki 3 atmosferų ir, be to, tada reikia turėti manometras su uždara dešiniąja šaka (uždaras manometras). Regnault'as nustatė vandens ir kitų skystimų virimo temperatūras su aparatu visiškai panašiu į čia aprašytą, tiktai paėmė destilacijos kolbą ir bonką R ne iš stiklo, bet iš metalo, ir vietoj gyvojo sidabro manometro pavartojo metalinį Bourdon'o manometrą.

Pažymėsime čia dar, kad vandens ir kitų skystimų virimo temperatūras augštesniems spaudimams galima surasti vadinamojo Papin'o katilo pagalba (62 pieš.), kuris buvo Papin'o išrastas dar XVII šimtmetyje. Denis Papin'as (1647—1712), prancūzas, garsus fizikas, turėjo apleisti Prancūziją kaipo kalvinistas del tikybinių persekiojimų ir darbavosi Olanduose būdamas Huyghens'o padėjėju, Londone Boyle

padėjėju ir pagaliau buvo matematikos ir fizikos profesorium Marburge ir Kassely, Vokietijoje. Jis yra daug prisidėjęs prie oro siurblio ištobūlinimo ir prie garų prigimties ištyrimo.

Jo katilas susideda iš stipraus su storomis sienomis metalinio indo (dažniausiai iš plieno), kuris aklai uždaromas metaliniu dangčiu. Tas dangtis užsukamas mūterkos pavidalu ant katilo krantų su sraigto sriegu (įgraiža). Tas dangtis turi tris skyles. Pro vieną iš tų skylių įleidžiamas su uždaru apatiniu galu metalinis vamzdis taip, kad jis neliestų skystimo katile. Tas vamzdis pripilamas gyvojo sidabro, o į tą gyvąjį sidabrą įleidžiamas termometras per kamštį, kuriuo uždaromas vamzdis. Pro antrą dangčio skylę aklai įleidžiamas į katilą vamzdis, sujungtas su metaliniu Bourdon'o manometru. Pagaliau trečia dangčio skylė turi trumpo, nukirsto iš abiejų galų, kūgio pavidalą ir uždaroma tokio pat pavidalo metaliniu gerai prišlifuotu kamščiu. Su tuo kamščiu kietai sujungta antros rūšies svirtis, kurios vienas galas prijungtas prie dangčio taip, kad prijungimo vietoje galėtų suktis (svirties ašis), o ant kito tos svirties galo užmautas judomai svoris. Tegu tas svoris bus lygus 1 kilogramui ir tegu jis pastatytas taip, kad jo petis dusyk ilgesnis, kaip atokumas nuo svirties ašies ligi jos atramos į kūginį kamštį. Tad einant svirties dėsniu spaudimas į kamštį bus lygus 2 kilogramams, jeigu kamščio ir, vadinasi, skylės skerskrodžio plotas bus 1 cm.^{2}. Jeigu katile be skystimo randasi oras esant atmosferos spaudimui, tad papildomasis spaudimas į kamštį būtų kaip tik 2 atmosferos. Pastačius, arba pastūmus, judomąjį svorį 1 klgr. taip, kad to svorio petis, skaitant nuo svirties paramos, arba ašies, būtų tris sykius ilgesnis kaip veikiančios kamštį jėgos petis (vadinasi, kaip atstumas nuo svirties ašies iki kamščio), spaudimas į kamštį pasidarytų lygus 3 atmosferoms. Vadinasi, darant svorio petį vis ilgesnį ir ilgesnį ir, reikalui esant, pakeičiant svorį 1 klgr. didesniu svoriu, mes galime sudaryti į kamštį spaudimą ne tik keliolikos, bet ir šimto atmosferų. Jeigu iš katilo, į kurį įpiltas tas ar kitas skystimas, iševakuotas oras, tai prie to spaudimo, kuriuo veikia kamštį užmautas ant svirties svoris, reikia dar pridėti išorinis atmosferos spaudimas. Tegu Papin'o katilas iki $^1/_3$ dalies arba net iki $^1/_2$ pripiltas vandens ir svoris ant svirties pastatytas taip, kad kamštį veikia spaudimas 2 atmosferų. Pastačius po katilu didelę liepsną, vanduo tam katile užvirs tik tada, kada jo sočių garų spaudimas pasidarys truputį didesnis kaip 2 atmosferos, ir įdėtas į vamzdį su gyvuoju sidabru termometras parodys tada nuolatinę virimo temperatūrą 121^0. Jeigu spaudimas sočių vandens garų pasidarys didesnis kaip 2 atmosferos, tai vidujiniu garų spaudimu sujungtas su svirtimi kamštis bus mažiau ar daugiau pakeltas augštyn, ir dalis garų išeis, pakol jų spaudimas katile pasidarys lygus svorio spaudimui į kamštį. Taigi čia kamštis sujungtas su svirtimi vaidina atsargos vožto vaidmenį. Pastačius svorį ant svirties taip, kad kamštį veiktų spaudimas, sakysime, 10 atmosferų, ir kaitinant katilą vanduo jame ims vėl virti tada, kada vandens sočių garų spaudimas pasidarys truputį didesnis kaip 10 atmosferų ir termometras mums parodys temperatūrą 180^0 ir t. t. Vadinasi, Papin'o katilo pagalba mes galime nustatyti įvairius spaudimus, augštesnius kaip atmosferos išorinis spaudimas, užvirinti vandenį esant tiems augštesniems spaudimams, atskaityti tą augštesnį garų spaudimą manometro pagalba ir atitinkančią virimo temperatūrą termometro pagalba. Nustačius tam tikrą išorinį spaudimą galima virimą varyti pakol liks skystimo likučiai, nes tas spaudimas automatiškai bus palaikomas dėka atsargos vožto.



Pieš. 62.

Technikoje irgi vartojamas Papin'o katilas tais atvejais, kur reikalinga virinti vandeny kokią nors medžiagą esant temperatūroms augštesnėms kaip 100° C., kaip, pavyzdžiui, gaminant iš kaulų klijų arba buljoną. Tokiais atvejais Papin'o katilas vadinasi autoklavu. Tokiu būdu, sakysime, iš kaulų esant temperatūrai apie 200° C. ekstraguojamas vandeniu osejinas ir iš to ekstrakto gaunamas klijus. Autoklave pasilieka mineralinės kaulų druskos, kaip kalkio fosfatas ir kalkio karbonatas, kaipo klijaus gamybos atmatos. Tos druskos sudaro žalią medžiagą gamybai superfosfato, reikalingą žemės ūkiui kaipo trąšos.

Ir laboratorijose autoklavas yra plačiai pritaikintas visais tais atvejais, kur reikia daryti ekstraktas esant augštesnėms kaip 100° temperatūroms, ar tai su vandeniu, ar tai su kitais skystimais.

Šioje lentelėje paduotos vandens virimo temperatūros esant spaudimams, augštesniems kaip normalinis atmosferos spaudimas.

Temperatūra	Sočių garų spaudimas atmosferomis	Temperatūra	Sočių garų spaudimas atmosferomis
100°	1	180,5°	10
120,7°	2	213,1°	20
134°	3	234,7°	30
144,1°	4	251,2°	40
152,4°	5	264,9°	50
159,4°	6	312,1°	100
165,5°	7	343,4°	150
171°	8	367,2°	200
176°	9		

Į šitą lentelę galima žiūrėti taip pat kaipo į lentelę vandens sočių garų spaudimo esant temperatūroms, augštesnėms kaip 100°. Išreiškiant šituos davinius grafiškai gausime sočių garų spaudimo kreivąją, kuri bus visiškai panaši į kreivąją žemesnėms temperatūroms (54 pieš.). Esant 367,2° temperatūrai išnyksta vandens skysta fazė, taip kad, kai esti augštesnė kaip ta temperatūra, vanduo tegali būti tiktai garų būvyje. Taigi šita temperatūra yra vandens krizio temperatūra, ir atitinkąs tai temperatūrai sočių garų 200 atmosferų spaudimas bus krizio spaudimas.

Mes jau anksčiau matėme, kad garavimas yra surištas su absorpcija tam tikro šilimos kiekio — slaptosios garavimo šilimos. Taip pat ir virimas. Kadangi ryšiai tarp molekulų, molekulinės kohezijos jėgos, silpnėja kįlant temperatūrai ir kadangi slaptoji garavimo šilima eikvojama išoriniam (prieš atmosferą) ir vidujiniam (prieš kohezijos jėgas) darbams atlikti, tai aišku, kad slaptoji garavimo šilima ir, vadinasi, slaptoji virimo šilima bus juo didesnė, juo žemesnė garavimo temperatūra, ir atbulai. Regnault'as, kuris nagrinėjo šituos santykius remdamasis savo eksperimentais, nustatė empirinę lygtį, kurios pagalba galima apskaityti slaptąją garavimo šilimą bet kuriai temperatūrai. Kiek suprastinta forma šita lygtis atrodo taip: $W = 596,73 - 0,601\ t$. Čia W reiškia slaptąją garavimo šilimą masės vienetui, sakysime, 1 gr., mažomis kalorijomis, o t reiškia garavimo temperatūrą. Iš šitos lygties išeina, kad slaptoji garavimo šilima temperatūrai 0° ir, vadinasi, slaptoji virimo šilima tai pačiai temperatūrai yra 596,73 mažųjų kalorijų 1 gramui vandens, temperatūrai 50° — 566,73 kal., temperatūrai 100° — 536,73 kal. ir t. t. Taigi išeina, kad kįlant temperatūrai slaptoji garavimo šilima artinasi prie 0 ir faktiškai virsta nuliu pasiekus krizio temperatūrą, reikia tik turėti minty, kad duota čia lygtis nebepritaikoma augštesnėms kaip 100° temperatūroms. Išeinant iš empirinių davinių galima ir toms augštesnėms temperatūroms surasti atitinkamą lygtį, tiktai jau labiau sudėtinės formos. Bet visa šilima, reikalinga tam tikram vandens kiekiui, paimtam esant žemesnei temperatūrai, paversti garais

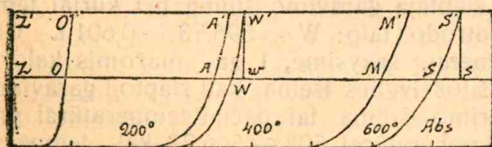
augštesne temperatūra, darosi vis didesnė ir didesnė kįlant temperatūrai. Šitie santykiai irgi galima išreikšti tam tikra empirine lygtimi (Regnault'o), kuri veikia bent temperatūroms iki 100° C. Štai ta lygtis: $Q = 596{,}73 + 0{,}4\,t$. Čia Q reiškia visą šilimą mažomis kalorijomis 1 gramui vandens, o t — temperatūrą esant kuriai skystis virsta garais. Taigi, pavyzdžiui, norint paėmus 1 gramą vandens 0° temperatūra paversti garais 20° temperatūra, reikia pirmiausia pakelti šitą vandens temperatūrą 20° ir, vadinasi, reikia 1 vandens gramui suteikti 20 kalorijų. Norint paversti 1 gramą vandens 20° temperatūros 1 gramu garų tos pačios temperatūros, reikia dar išeikvoti 584,71 kalorijų. Taigi iš viso šilimos išlaidos šituo atveju bus 604,71 kalorijų. Paėmus 1 gramą vandens 0° temperatūros ir norint jį paversti garais 100° temperatūros reikia pirmiausia išeikvoti 100 kalorijų to vandens temperatūrai pakelti 100° ir, be to, dar reikia išeikvoti 536,63 kalorijų, norint paversti 1 gr. vandens 100° temperatūros 1 gr. garų tos pačios temperatūros. Vadinasi, iš viso šituo atveju reiks išeikvoti 636,63 kalorijų. Šitie šilimos kiekiai galima apskaityti bent iki 100° C paskutinės čia paduotos lygties pagalba.

Kadangi oro spaudimas pareina nuo augščio, tai nustatant įvairiuose augščiuose vandens virimo temperatūrą galima apskaityti augštis žemės paviršiaus atžvilgiu. Pavyzdžiui, ant Mont Blanc'o (augštis apie 4,5 kilometrų) vanduo užverda esant 92—93° temperatūrai, iš kur išeina, kad oro spaudimas ant Mont Blanc'o yra apie 600 mm. gyvojo sidabro stulpo. Tai reiškia, kad ant Mont Blanc'o jau nebegalima išvirti kiaušinis, ir todel darant ekskursijas į augštus kalnus reikia mėsa ir kiaušiniai turėti su savimi išvirtus, nės augštybėse juos galima bus tik pašildyti. Norint surasti augštį, galima vietoj mažo barometro aneroido naudotis vandeniniu hipsometru. Tai yra nedidelis aparatas virdulio pavidalo su jautriu termometru, kurio pagalba nustatoma vandens virimo temperatūra ir iš čia jau sprendžiama apie oro spaudimą ir augštį, naudojantis tam tikromis lentelėmis.

Kadangi laboratorijose labai dažnai naudojamasi vandens ir kitų skysčių virimo temperatūra termometrams patikrinti, sudaryti nuolatinės temperatūros garų tynę ir kitiems tikslams, tai norint tiksliai nustatyti šitą virimo temperatūrą reikia kiekvieną sykį atskaityti barometras, nes virimo temperatūra pareina nuo išorinio spaudimo ir, vadinasi, kiekvieną sykį reikalinga yra tam tikros pataisos. Šitai pataisai surasti galima pasinaudoti Ramzay'o ir Young'o homologiniams chemijos junginiams nustatyta taisyklė, būtent, kad santykis tarp absolutinės virimo temperatūros dviem homologiniams junginiams, pavyzdžiui, dviem alkoholiams arba net vandeniui ir paprastam spiritui, yra tas pat esant įvairiems spaudimams, vadinasi, nepareina nuo spaudimo $\left(\frac{T\ \text{vanduo}}{T\ \text{spiritas}} = \frac{373}{354} = 1{,}06 = \text{Const.}\right)$.

Čia raide T pažymėtos absolutinės virimo temperatūros vandens ir spirito esant normaliniam atmosferos spaudimui. Taigi ir kitiems spaudimams, ar jie bus žemesni, ar augštesni už normalinį atmosferos spaudimą, absolutinių virimo temperatūrų santykis pasilieka tas pats.

63 piešinys atvaizduoja šituos santykius grafiškai. Pradžia koordinatų reiškia čia absolutinį temperatūros nulį, išilgai abscisos atidėtos įvairių medžiagų iš homologinės eilės absolutinės virimo temperatūros, išilgai gi ordinatų atitinkami toms virimo temperatūroms spaudimai. Kreivoji OO^1 yra skysto deguonio garų spaudimo kreivoji. Kreivosios AA^1, WW^1, MM^1, SS^1 reiškia garų spaudimus iš eilės alkoholio (spirito), vandens, gyvojo sidabro ir verdančios sieros. Taigi tos kreivosios labai panašios viena į kitą ne tik homologiniams junginiams, kaip vanduo ir alkoholis, bet ir tokiems skysčiams, kaip, pav., deguonis, gyvsidabris ir skysta siera, kurių jokiu būdu į homologinę eilę įterpti negalima. Gulsčios linijos ZOAWMS atkarpos, skaitant nuo Z lygiagrečiai abscisai, ir reiškia normalines atitinkančių skysčių virimų temperatūras. Taigi



Pieš. 63.

iš šitos diagramos apytikriai išeina, kad $ZA : ZW : ZM \ldots = Z^1A^1 : Z^1M^1 \ldots$ Tai ir reiškia, kad santykis absoliutinių virimo temperatūrų visiems tiems skysčiams yra tas pats įvairiems spaudimams. Pagaliau iš šitos diagramos išeina dar, kad $Ww : Ss \ldots = ZW : ZS \ldots$ Žodžiais tai reiškia, kad virimo temperatūros pakilimas del tam tikro spaudimo padidėjimo yra proporcingas absolutinei virimo temperatūrai. Taigi paėmus tokius junginius, kaip, pavyzdžiui, vanduo ir alkoholis, kurių virimo temperatūros skiriasi tik kokiais 20^0, dalys spaudimo kreivųjų AA^1, $WW^1 \ldots$ bus gangreit lygios. Vadinasi, nustatant virimo temperatūras tokiems skysčiams visais atvejais galima pavartoti tokią pat barometrinę pataisą kaip vandeniui, kuriam ir eksperimento keliu ir apskaitymais nustatyta, kad vidutiniškai virimo temperatūra pasikelia 1^0 padidėjus išoriniam spaudimui 27 mm. gyvojo sidabro stulpo.

Mes jau matėme, kad virimas gali eiti tik tada, kada vandeny ar kitam kuriam skystyje yra pakankamai oro arba kitų kokių dujų, kad lengvai galėtų susidaryti garų burbulai. Ir tik tokiais atvejais mes turime nuolatinę virimo temperatūrą. O kalbėdami hidrodinamikos skyriuje apie paviršiaus įtempimo reiškinius mes matėme, kad skysčio laisvas paviršius reiškia gana didelį normalinį spaudimą, kuris tarp kita ko yra tiesioginai proporcingas paviršiaus kreivumui (atvirkščiai proporcingas paviršiaus spinduliui). Taigi jeigu mes turime vandeny labai mažą burbuliuką, vadinasi, labai mažo spindulio rutuliuką, tai esant hidrostatiniam spaudimui, kuris veikia šitą burbuliuką, prisidės dar to burbuliuko paviršiaus normalinis spaudimas, kuris, pavyzdžiui, yra lygus 1 atmosferai, jeigu burbuliuko diametras yra lygus 0,00002 cm. ir 2 atmosferoms, kada diametras lygus 0,00001 cm. Vadinasi, tokie burbuliukai yra įtakoje spaudimų keletą sykių didesnių kaip išorinis atmosferos spaudimas, ir kįla klausimas, argi galimas daiktas, kad tokie burbuliukai šildant skystimą galėtų išsiplėsti taip ir jų vidujinis spaudimas galėtų pakilti tiek, kad jie taptų virimo priežastimi. Taigi aiškus dalykas, kad tai negalima.

Kad galėtų susidaryti pakankamai didelis garų burbulas su palyginti nedideliu normaliniu spaudimu ir taip, kad to burbulo spaudimas, susidedąs iš oro ir sočių garų spaudimo, pasidarytų didesnis kaip išorinis hidrostatinis spaudimas plius burbulo paviršiaus normalinis spaudimas, reikia, kad iš pradžios vandeny būtų pakankamai oro arba kitų kokių dujų. Tada šildant vandenį burbulai dideliu skaičiu susidaro tuose vandens sluogsniuose, kuriems suteikiama šilima. O jeigu vanduo iš pat pradžios turi labai mažai oro, tai šildant tokį vandenį garų burbulai susidaro ant stiklo kolbos sienų, ypač tokiose kolbos vietose, kur yra šiurkštumai, bruožai, nešvarumai arba maži plyšiai. Kaip jau mes žinome, stiklas, kaip ir kiti kieti kūnai, okluduoja ant savo paviršiaus orą ir aplamai dujas, ir juo daugiau, juo šiurkštesnis stiklo paviršius, arba juo nešvaresnis tas paviršius. Bet virinant vandenį ilgesnį laiką tokioje kolboje okluduotas ant paviršiaus oras bus pagaliau išeikvotas lygiai kaip ir oras kolbos mikroskopiškuose plyšiuose, ir tada sustos ramus virimas, jo vietoj prasidės spazmodiškas virimas postūmiais: vandens temperatūra kilstelės $5-10^0$ augščiau virimo temperatūros ir pagaliau staiga susidarys didesnis garų kiekis sprogimo pavidalu. Tuo pačiu laiku vandens temperatūra nupuls iki normalinės virimo temperatūros. Paskui vėl vandens temperatūra pakils augščiau kaip virimo temperatūra, vėl bus staigus garų išsiveržimas ir temperatūros puolimas ir t. t. Toksai virimas staigiais postūmiais yra gana pavojingas dalykas, nes lengvai gali atsitikti, kad staiga virs garais didesnė masė vandens, ir mes turėsime jau tikrą sprogimą su visais jo vaisiais. Taigi mes čia turime dalyką su perkaitintu vandeniu; šis stovis visuomet susidaro tada, kada vandeny nėra oro ar kitų dujų, arba kada ilgu virinimu iš vienos pusės išvaromas visas oras iš vandens, o iš kitos pusės nuplaunami nuo kolbos sienų visi nešvarumai ir pašalinamas visas okluduotas ant kolbos paviršiaus oras. Jeigu iš pradžios kolba išvirinta gerai su vandeniu, kuriam pridėta nedidelė porcija šarmo, kuris palengvina pašalinimą nešvarumų, ypač riebalų, ir dalinai net tirpina pati stiklą, tai pripylę tokią kolbą vandens, iš kurio pašalintas oras, ir šildydami tą vandenį mes pakelsime jo temperatūrą žymiai augščiau kaip normalinė temperatūra, kai kada net 20^0 augščiau, ir nepastebėsime jokių virimo reiškinių. Bet toks eksperimentas yra labai pavojingas,

nes pripuolamai įkritus mažiausiai dulkelei į tokį vandenį iš oro, ta dalelė taps garavimo branduoliu arba gemalu, nes ji turi okluduotą orą. O prasidėjęs vienoj vietoj garavimas išsiplės didesnėj vandens masėj ir kaipo išdavą mes turėsime tikrą sprogimą, kitaip sakant, staigų susidarymą didelio garų tūrio. Vadinasi, ir čia į oro arba kitų kokių dujų burbuliukus vandeny ir šiaipjau skysčiuose reikia žiūrėti kaipo į garų susidarymo branduolius, arba gemalus. Nesant tokių gemalų skysčiuose, jie lengvai gali būti perkaitinti, ir dažnai mechaniškas staigus sujudinimas bet kurioj vietoj ir visuomet pripuolamai įkritusi dulkelė su okluduotu oru sukels pavojingą sprogimą. Taigi tarp perkaitinto ir peršaldyto skysčių stovio reiškiasi pilna analogija. Pirmu atsitikimu nėra oro arba kietų dalelių su okluduotu oru, o kitu atsitikimu nėra irgi kietų dalelių, arba mažučių tos pačios medžiagos kristaliukų, apie kuriuos kaip apie branduolius galėtų prasidėti susidarymas kietų kristalų iš skysčių.

Aišku, kad lengva bus pasiekti perkaitintas skysčio stovis sumaišius jį su kitu skysčiu, nes tada mes aptrauksime paimto skysčio daleles plėkšnelėmis iš kito skysčio. Efektas bus ypatingai didelis, jeigu mes paimsime du skysčius, kurie neminša, pavyzdžiui, vandenį ir kokį nors aliejų. Taip sumaišytą vandenį galima įkaitinti net iki 180^0 nepastebint jokių virimo apsireiškimų. Čia, taip sakant, kiekviena vandens dalelė bus aptraukta aliejaus plėkšnele ir tokiu būdu bus izoliuota nuo oro. Galima užpilti ant vandens paviršiaus storesnį aliejaus sluogsnį. Tokiomis aplinkybėmis vandenį galima irgi perkaitinti.

Šita aplinkybė — stoka oro — dažnai būna priežastimi garų katilų sprogimo. Jeigu garvežys ilgesnį laiką stovėjo depo ir vanduo jame buvo virinamas, tai būna atsitikimų, kad pradėjus garvežiui važiuoti įvyksta sprogimas. Dalykas čia tas, kad kaitinant katilą ilgesnį laiką depo, iš vandens išvaromas pagaliau visas oras ir vanduo darosi perkaitintas. Pradėjus garvežiui judėti, vien tik mechaniškas vandens sujudinimas gali sukelti staigų garų susidarymą dideliame tūryje, vadinasi, sprogimą. Be to, sujudinto vandens dalis gali įeiti į kontaktą su ta ar kita katilo paviršiaus vieta viršum vandens paviršiaus, kur dar randasi okluduotas oras. O prasidėjus garavimui vienoje vietoje ir esant vandeniui perkaitintame stovyje, garavimo procesas staiga išsiplečia didesnėj vandens masėj, ir mes turime sprogimą.

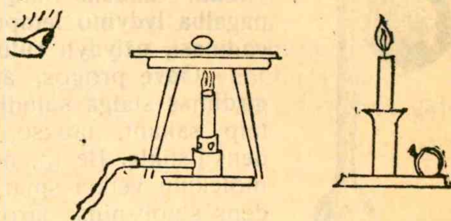
Suprantama, kad jeigu perkaitintame vandenyje del tos ar kitos priežasties didesnė vandens masė virsta garais, tai vandens temperatūra visuomet puola žemyn iki normalinės virimo temperatūros, nes virstant vandeniui garais absorbuojama slaptoji garavimo šilima, kuri, kaip mes matėme, yra gana didelė.

Laboratorijose ir dirbtuvėse dažnai prisieina virinti skiedinius ilgesnį laiką. Skiedinių virimo temperatūra visuomet yra augštesnė kaip vandens arba kito tirpintojo virimo temperatūra. Taigi ir čia lengvai galima realizuoti perkaitintas stovis, ir virimas eis staigiais postūmiais, kas visuomet yra pavojinga. Norint išvengti tokių postūmių ir kad virimas eitų lengvai, reikia į virinimo indą, sakysime, kolbą įmesti keletą mažų gabaliukų platinos, kuri visuomet turi daug okluduotų dujų, arba, nesant platinos ir ten, kur nereikalaujamas perdidelis skiedinio švarumas, keletą gabaliukų pemzos ir net ir kalkio — aplamai akytos medžiagos, kuri irgi visuomet turi daug oro. Kiekvienas žino, kad ilgai virinant vandenį ir sumažėjus jame burbuliavimui pakanka įmesti gabaliuką kokios nors akytos medžiagos, arba net įberti žiupsnį cukraus arba druskos, kad pasidarytų didelis trukšmingas garų burbulų išsiveržimas.

Nurodysime čia dar į vieną priežastį garų katilų sprogimo, būtent, į vadinamąjį sferoidinį vandens arba kito kokio skysčio stovį (žiūr. 64 pieš.). Paėmus švarią metalinę plokštelę, užvis geriau iš platinos, įkaitinus ją iki raudonumo ($500-600^0$) ir užpylus ant raudonai įkaitinto paviršiaus truputį vandens, vanduo tuojau susitrauks lašo pavidalu, ir tas lašas gana ilgai bėginės eratiškai ant įkaitinto metalo paviršiaus. Pastatę iš vieno tokios įkaitintos plokštelės galo žvakę, o iš kitos pusės žiūrėdami išilgai paviršiaus per lupą, lengvai pastebėsime, kad vandens lašas neliečia metalo paviršiaus ir atskirtas garų sluogsniu. Vadinasi, susidarius kontaktui tarp skysto vandens ir įkaitinto paviršiaus, kontakto vietoje vanduo virsta garais, ir tas garų sluogsnis kaip izoliuojantis pagalvis atskiria lašą nuo metalo paviršiaus. Bet per

šitą garų izoliuojantį sluogsnį šilima visgi suteikiama lašui radiacijos keliu, bet daugiausia konvekcijos keliu. Taigi tai vienoj, tai kitoj lašo vietoj iš jo išsiveržia garai ir kaipo garų srovės reakcijos padarinys lašas blaškomas tai į vieną, tai į kitą pusę. Tiktai metalo paviršiui pakankamai atvėsus, izoluojantis garų pagalvis darosi labai plonas ir net visiškai išnyksta, ir tada lašas, pasiekęs metalo paviršių, visas trukšmingai virsta garais. Šitas reiškinys žinomas kiekvienam, kuriam virtuvėje atsitiko išpilti vanduo ant karštos plytos. Tiesioginiai matavimai rodo, kad tokio vandens, arba kito skystimo lašo, bėgiojančio ant karšto metalo paviršiaus temperatūra visuomet yra žemesnė kaip virimo temperatūra.

Ypatingai ilgai vandens lašas laikosi ir bėgioja, jeigu įpilama truputį vandens į raudonai įkaitintą platinos puodelį. Jeigu raudonai įkaitinti geležinį puodą, tai įmestas į tokį puodą ledo gabalas, atskirtas nuo metalo paviršiaus sluogsniu garų, gali bėgioti keliolika sekundų. Toksai vandens sferoidinis stovis (nuo žodžio sferoidas, kas reiškia rutulys) galima realizuoti ir esant temperatūroms net žemesnėms kaip virimo temperatūra, sakysime, esant 80^0, darant eksperimentą esant mažesniems spaudimams kaip išorinis atmosferos spaudimas. Šituo sferoidiniu stoviu galima išaiškinti tą faktą, kad raudonai įkaitinta geležis, įmerkta į vandenį, palieka raudona per minutę ir net daugiau. Todel grūdinti geležis (plienas) geriau aliejuje arba gyvajam sidabre negu vandeny. Šlapią ranką mes galime drąsiai įkišti į ištirpintą skystą metalą (aišku, kad tik labai trumpam laikui), nes tuojau apie ranką susidarys izoluojantis garų sluogsnis, taip kad kontaktas tarp metalo ir rankos paviršiaus bus pašalintas. Antra vertus, sausą ranką galima drąsiai įkišti į skystą orą, kurio temperatūra — 190^0, nes čia irgi tuojau apie ranką susidarys izoluojantis sluogsnis dujiško oro, kuris neprileis betarpio kontakto tarp rankos paviršiaus ir skysto oro.



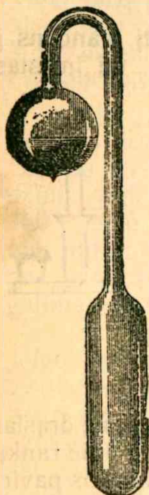
Pieš 64.

Grįžtant prie garų katilų, jeigu jie aprūpinami kietu kalkiuotu vandeniu, tai ant jų sienų susidaro vadinamasis akmuo, ir tose vietose, kur toksai akmuo susidaro, šilima suteikiama vandeniui mažesniu greitumu kaip nuo metalinio paviršiaus. Taigi tokios vietos lengvai gali įkaisti iki raudonumo ir net smarkiau (500—600^0). Tokiose vietose vanduo bus sferoidiniame stovyje. Bet suplonėjus garų sluogsniui, kuris atskiria vandenį nuo raudono įkaitinto akmens, gali susidaryti betarpis kontaktas, ir tada išsyk didelė vandens masė gali virsti garais, vadinasi, bus sprogimas. Taigi norint išvengti garų katilų sprogimų, kurie, jau nekalbant apie nuostolius, visuomet yra surišti su žmogaus sveikatos ir gyvybės naikinimu, reikia daboti, kad katilo vidujinis paviršius būtų visuomet laisvas nuo kalkio nuosėdų ir kad vanduo, kuriuo aprūpinamas katilas, visuomet turėtų pakankamai oro (užvis geriau aprūpinti katilus minkštu be kalkių vandeniu iš baseino, arba cisternos su dideliu paviršium, dėka kurio vandeny visuomet bus pakankamai oro).

Iš prityrimo mes žinome, kad šlapios rankos sudaro šalčio jausmą. Dalykas tas, kad garuojantis nuo rankų paviršiaus vanduo absorbuoja daug slaptosios garavimo šilimos, atimdamas tą šilimą nuo rankos paviršiaus. Taigi rankos paviršiaus temperatūra žymiai puola žemyn. Dar smarkiau mes atjausime šaltį, jeigu ant rankos užpilsime eterio, kuris verda 35^0 temperatūra, vadinasi, žemesne kaip rankos temperatūra, ir kuris prie paprastos kambario temperatūros garuoja daug smarkiau kaip vanduo. Užpylę ant stalo, arba ant lentos, vandens sluogsnį, padėsime ant jo metalinį puodelį. Įpylę į tą puodelį eterio ir paėmę į burną vamzdį pūskime per eterį orą Tokiu būdu mes sukelsime smarkų eterio garavimą visoj jo masėj ir, kaipo to garavimo padarinį, žymų temperatūros puolimą del priežasties slaptosios garavimo šilimos absorpcijos, taip kad pagaliau vandens sluogsnis po puodeliu bus kietai pritrauktas prie stalo, arba lentos. Taigi garavimo ir virimo procesais galima pasinaudoti, norint pasiekti žemų temperatūrų. Esant didelei kaitrai, vasaros metu, galima atvėsinti butas

užtiesus šlapias paklodes. Karštuose kraštuose vanduo laikomas akmeniniuose induose iš akyto akmens medžiagos. Vanduo garuoja per tas skyles, absorbuoja slaptąją garavimo šilimą iš savo masės ir tuo būdu neleidžia perdaug pakilti temperatūrai.

Šitą temperatūros puolimą sąryšy su vandens garavimu galima ryškiai demonstruoti aparato pagalba, kuris vadinasi krioforas (reiškia šalčio nešiotojas) ir kurį atvaizduoja 65 piešinys. Tai yra stiklo vamzdis iki 2—3 cm. diametro, kurio vienas galas išpūstas platesnio cilindro pavidalu, o kitas galas užlenktas ir išpūstas rutulio pavidalu. Rutulio galas ištemptas trumpo ir siauro vamzdžio pavidalu ir iš pradžios atdaras. Cilindrinę dalį reikia pripilti gryno vandens (kaip pripilti, apie tai jau buvo ne vieną sykį kalbėta) ir šitą vandenį gerai išvirinti, taip kad iš jo būtų išvarytas oras ir kad visas aparatas viršum vandens būtų pripildytas vandens garų be oro. Padarius tai, pagalba lydymo lemputės reikia nutempti vamzdelį ant rutulio galo, vadinasi, užlydyti rutulį.

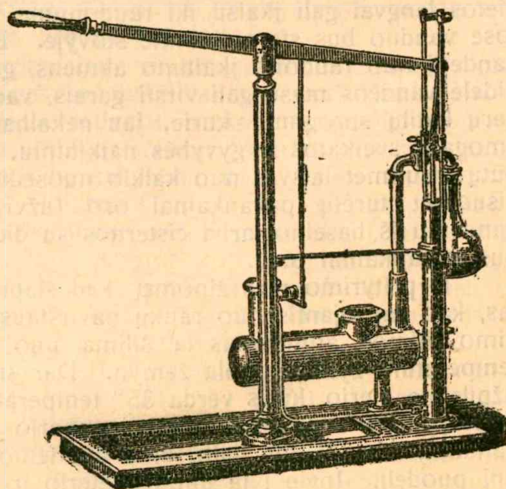


Pieš. 65.

Gavę progos, atkreipsime akis į smarkų metalinį garsą, kuris girdimas staiga sujudinus vandenį tokiame kriofore. Nesant oro nėra, taip sakant, taukšo, arba buferio, kuris slopina susitrenkimą vandens į stiklą. Be to, nesant oro vandeny, kohezijos jėgos tarp vandens molekulų veikia smarkiau. Todel perskiriant, arba pertraukiant, vandens sluogsnius, darosi garsas panašus į tą, kurį tenka girdėti pertraukiant metalinį stiebą.

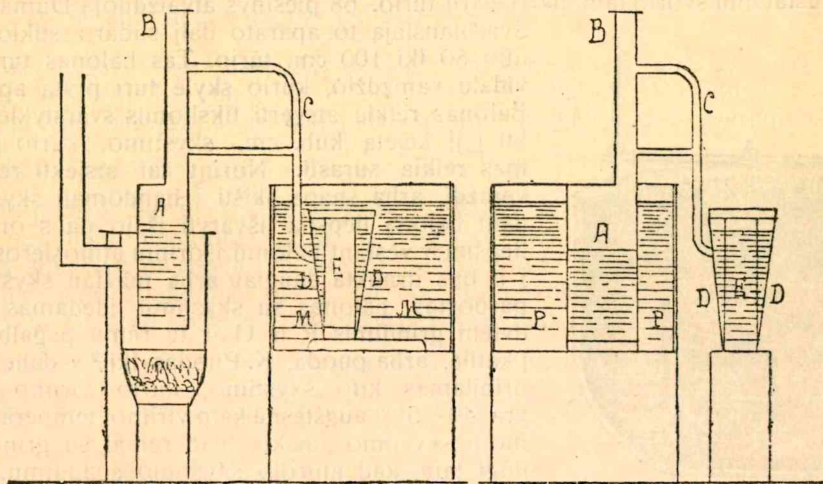
Suvarysime dabar šitame kriofore visą vandenį į rutulį ir įdėsime platesnę cilindrinę jo dalį į sniego ir druskos mišinį. Labai greitai mes pastebėsime, kad ant vandens paviršiaus rutuly susidarys ledo sluogsnis, o per ilgesnį laiką net ir visas vanduo užšals. Visa neužimta vandens krioforo dalis yra pripildyta sočių vandens garų,kurie reiškia tam tikrą spaudimą, sakysime, esant kambario temperatūrai. Įstatę cilindrinę dalį į šaldomąjį mišinį, ta garų dalis kondensuosis, vadinasi, sumažės jų spaudimas ir nebebus pusiausvyros tarp garų ir skystos fazės. Taigi skystimas ims garuoti ir jo garai slinks nuo didesnio spaudimo rutuly mažesnio spaudimo link cilindrinėje dalyje. Bet čia vėl garai kondensuosis, garavimas eis toliau ir t. t. Kadangi šaldomojo mišinio temperatūra yra žymiai žemesnė kaip rutulio temperatūra, tai vandens garavimas rutuly ir slinkimas garų į cilindrinę dalį eis čia gana greitai ir, vadinasi, absorbuotą garavimo šilimą (absorbuota iš paties vandens) nebus pakankamai kompensuojama tekančia iš oro šilima. Todel temperatūra vandens rutuly ims pulti žemyn, greitai pasieks 0^0 ir del priežasties tolimesnės slaptosios garavimo šilimos absorbcijos vanduo ims virsti ledu.

Paimsime du plokščiu dubeniu, vieną mažesnį kitą didesnį, ir štatyvo pagalba pastatysime didesnį truputį augščiau kaip mažesnį. Pripilsime dabar augštesnį dubenį vandens, o žemesnį stiprios sieros rūgšties, padėsime šitą aparatą ant oro siurblio lėkštės ir uždengsime aklai gaubtu. Išsiurbus iš po gaubto pakankamai oro, vanduo ims virti. O vandens garai bus smarkiai absorbuojami stiprios sieros rūgšties. Taigi ir čia vanduo augštesniam dubenyje gana greitai užšals. Šituo reiškiniu remiasi mašina Carré ledui pagaminti (66 pieš.). Gulsčias cilindras B, padirbtas iš antimonijaus



Pieš. 66.

ir alavo lydinio, kurį neveikia sieros rūgštis, pripiltas truputį daugiau kaip iki pusės stiprios sieros rūgšties. Neužimta sieros rūgštimi cilindro B dalis sujungta sulenkto vamzdžio pagalba su kolba C, pripilta daugiau kaip iki pusės vandens ir kaučuko kamščio pagalba aklai užmauta ant kito galo sulenkto vamzdžio. Be to, su cilindru B sujungtas oro siurblys, kurio pagalba galima evakuoti iš cilindro B oras. Ėmus veikti siurblio svirtimi, kaip rodo piešinys, ir pakankamai iševakuavus orą iš cilindro B, vanduo kolboje C ims virti, vandens garus absorbuos sieros rūgštis cilindre B, ir pagaliau kolboje C susidarys ledas. Pagalba nedidelės mašinos Carré galima per valandą paruošti apie 2 kilogramus ledo. Kad tą ledą galimą būtų išimti, kolba C sustatoma iš dviejų dalių: viršutinės butelio pavidalu su kaklu ir apatinės pavidalu nukirsto iš abiejų galų kūgio, kurio platesnė dalis turi gerai prišlifuotus krantus, taip kad patepus tuos krantus vazelinu ar net taukais, galima juos aklai prispausti prie lygiai gerai nušlifuotų krantų viršutinės dalies butelio pavidalu. Vanduo randasi apatinėje dalyje. Susidarius ledui, įleidžiamas į šitą sudėtinę kolbą oras tam tikro bėgtuvo pagalba, ir tada nesunku atskirti apatinę indo dalį su ledu nuo viršutinės dalies, ir apvertus šitą apatinę dalį dugnu augštyn išmesti gabalą ledo, nukirsto iš abiejų galų kūgio pavidalu.



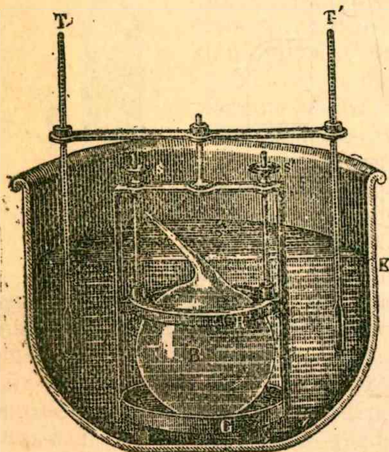
Pieš. 67.

Karštuose kraštuose, kaip Pietų Afrika arba Indija, eina dirbtinas gaminimas ledo dideliam maštabe, nes ten ledas reikalingas ne tik tiems arba kitiems gamybos procesams tinkamai vesti, bet ir butams vėsinti. Tokiais atvejais vartojamas vadinamasis refrigeratorius Carré (irgi mašina Carré), kur temperatūros pažeminimas pasiekiamas skysto amoniako garavimu. Šito aparato skiemenį atvaizduoja 67 piešinys. Stipriame geležiniame cilindre A randasi stiprus amoniako skiedinys. Cilindras A pagalba vamzdžių B ir C sujungtas su indu DD irgi iš stiprios geležies, kuris įdėtas į didesnį indą MM su šaltu vandeniu. Į indą DD įstatomas geležinis cilindras E pripiltas vandens. Indas DD uždaromas dangčiu, taip kad nebūtų susisiekimo tarp cilindro E tūrio ir tarpų tarp cilindro E ir indo DD šonų. Sukūrę ugnį po geležiniu indu A, amoniakas garuos ir jo garai užims tarpą tarp cilindro E ir indo DD šonų, susispaus ir pagaliau virs ten skystu amoniaku. Atsiekus tai, indai DD ir A pakeičiami savo vietomis, taip kad indas A patenka į tynę su šaltu vandeniu, o indas DD užima indo A vietą (žiūr. dešiniąją piešinio pusę). Skystas amoniakas inde DD esant kambario temperatūrai ima smarkiai garuoti, o jo garai smarkiai absorbuojami vandeniu indo A, kas dar prisideda prie sustiprinimo garavimo. Tokiu būdu cilindras E taip greit atvėsta, kad visas vanduo jame virsta ledu. Išėmus cilindrą E iš indo DD lengva iš-

mušti ledo cilindrą iš geležinio cilindro. Pripylus vėl geležinį cilindrą vandens, įstačius jį į indą DD ir uždarius dangčiu, vėl indai DD ir A pakeičiami savo vietomis ir iš naujo varoma amoniako destilacija, kaip rodo kairioji piešinio pusė, ir t. t. Sukombinavus keletą indų DD su keletu indu A galima varyti masinė ledo gamyba.

16 §. Garų tankumas. To dydžio suradimas Dumas'o ir Hofmano metodais. Fairbairn'o ir Tate'o metodas sočių garų tankumui surasti.

Garų masė tūrio vienete vadinasi garų tankumas. Bet fizikoje ir šiaipjau dažniau kalbama apie garų lyginamąjį svorį sauso ir gryno oro atžvilgiu, o chemijoje vandenilio atžvilgiu. Vadinasi, nustatomas santykis tarp tam tikro garų tūrio svorio, esant tam tikram spaudimui ir temperatūrai, ir tarp tokio pat sauso ir gryno oro tūrio svorio, esant tam pačiam spaudimui ir tai pačiai temperatūrai, ir šitas santykis fizikoje vadinasi garų tankumas. Savaime aišku, kad perkaitintų garų ir sočių garų tankumai yra skirtingi, ir metodai jiems surasti nevienodi. Aprašysime čia pirmiausia du metodu nesočių perkaitintų garų tankumui surasti. Pradėsime metodu Dumas'o, kuris remiasi nustatymu svorio tam tikro garų tūrio. 68 piešinys atvaizduoją Dumas'o aparatą.



Pieš. 68.

Svarbiausiąją to aparato dalį sudaro stiklo balonas B nuo 50 iki 100 cm. tūrio. Tas balonas turi kaklą pavidalu vamzdžio, kurio skylė turi plotą apie 1 m/m^2. Balonas reikia atsverti tiksliomis svarstyklėmis ir įtraukti į jį keletą kub. cm. skystimo, kurio garų tankumas reikia surasti. Norint tai atsiekti reikia balono vamzdį, arba snapą, įkišti į bandomąjį skystimą ir šildant balonąliepsna išvaryti iš jo dalis oro. Atėmus liepsną ir vėstant balonui išoriniu atmosferos spaudimu, į jį bus įtraukta daugiau arba mažiau skystimo. Taip paruoštas balonas su skystimu įdedamas į rėmus su dviem grindimis R ir G ir tų rėmų pagalba įstatomas į katilą, arba puodą, K. Puodas iki $^2/_3$ dalies savo tūrio pripilamas kito skystimo, kurio virimo temperatūra yra 40—50^0 augštesnė kaip virimo temperatūra bandomojo skystimo (aišku, kad rėmai su grindimis reikalingi tam, kad antrojo skystimo spaudimu, einant Archimedo dėsniu, balonas nebūtų išstumtas laukan). Į skystimą puode K įleisti dviejų termometrų T T galai, kuriais kontroliuojama puodo skystimo temperatūra. Pagalba rėmų galima maišyti skystimas puode, kad kuo geriau būtų išlyginta temperatūra puode visuose jo sluogsniuose. Puodas dabar kaitinamas liepsna, ir kada tynės temperatūra pasidarys augštesnė kaip bandomojo skystimo virimo temperatūra, tasai skystimas ima smarkiai virti, ir jo garai veržiasi stiprios srovės pavidalu pro balono snapo skylę, varydami iš balono orą. Virinimas tęsiamas patol, pakol išnyks paskutinis lašas bandomojo skystimo balone. Tokiomis sąlygomis galima būti tikrais, kad visas oras iš balono bus išvarytas laukan, jeigu tik iš pradžios balone buvo pakankamai skystimo, balono visas tūris bus pripildytas skystimo garų, tik nesočių, nes nesant skystos fazės jie negali būti sočiame stovyje. Atsiekus tai, lydymo lemputės pagalba nutempiamas per vidurį balono snapas ir balonas išimamas iš tynės, atskaitant prieš išimant jį abudu termometrus ir, be to, dar išėmus tuojau atskaitant barometrą. Išimtas iš tynės balonas sausai nušluostomas rankšluosčiu ir jau atvėsus ligi kambario temperatūros vėl atsveriamas tiksliomis svarstyklėmis. Prieš atsveriant reikia dar patikrinti, ar nepasiliko jame vieno kito burbuliuko oro. Atvėsus balonui, likusieji jame garai susikondensuos pavidalu didoko lašo. Tas lašas suvaromas į užlydytą balono snapą ir žiūrima, ar nesimato oro burbuliukų skystime, suvarytame į snapą. Jeigu nematyt, tai viskas gerai, ir einamą prie atsvėrimo. (Neužmiršti sveriant uždėti ant svarstyklės lėkštės

kartu su balonu nutemptą snapo dalį!) Atsvėrus reikia surasti balono tūris. Tam tikslui reikia paimti didesnį indą su grynu gerai išvirintu vandeniu, kad jame nebūtų oro; įkišti į šitą vandenį balono snapą, įbrėžti bružykle snapą netoli nuo jo galo ir nulaužti vandeny tam tikromis replėmis snapo galą. Tada išoriniu atmosferos spaudimu balonas bus pripildytas vandens. Padarius tai reikia vėl atsverti baloną su vandeniu, kas galima atlikti ant paprastų svarstyklių, kurių, sakysime, jautrumas siekia tik iki 1/100 gramo. Sveriant atvėsusį baloną ant tikslių svarstyklių reikia irgi užregistruoti svarstyklių temperatūra ir barometro parodymas, nes laikotarpy nuo užlydymo balono snapo ligi jo atvėsimo atmosferos spaudimas gali ir pasikeisti.

Tegu bus:

1) m — svoris balono su oru;

2) m_1 — svoris balono su garais;

3) M — svoris balono su vandeniu;

4) t ir b — termometro ir barometro parodymai užlydant balono snapą;

5) t_1 ir b_1 — termometro ir barometro parodymai sveriant baloną su garais;

6) d_0 — oro tankumas esant temperatūrai t_1 ir spaudimui b_1;

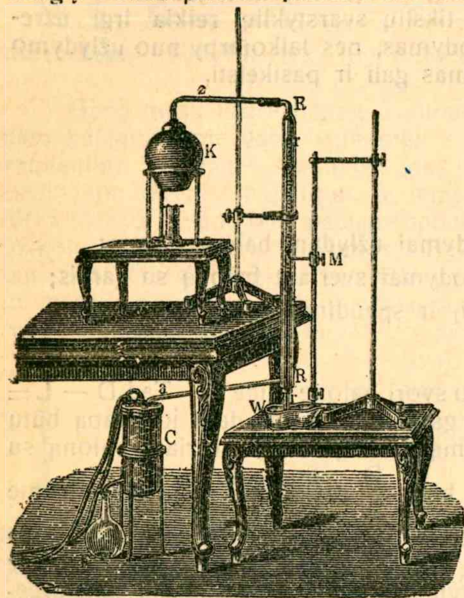
7) d — garų tankumas oro atžvilgiu.

Pažymėsime garų svorį balone raide D ir oro svorį balone raide L. Tad $D - L = m_1 - m$ ir, vadinasi, $D = m_1 - m + L$. Jeigu garai balone užlydant jo snapą būtų turėję tokią pat temperatūrą t_1 ir tokį pat spaudimą b_1 kaip oras, sveriant baloną su garais, tad garų tankumas sauso oro atžvilgiu būtų $\frac{D}{L} = \frac{m_1 - m}{L} + 1$ (atkreipsime čia dar dėmesį, kad barometro parodymas b_1 reikia dar pataisyti del priežasties oro drėgnumo, nes mes nustatome garų tankumą sauso oro atžvilgiu. Vadinasi, be visa to, kas anksčiau pasakyta, reikia dar nustatyti oro drėgnumas. Jeigu tam drėgnumui atatinka garų spaudimas ore p, tai nuo barometro parodymo reikia atimti $^3/_8$ p. Taigi b_1 reiškia čia tokį pataisytą barometro parodymą).

Kadangi balonas su vandeniu sveria M gr., o su oru m gr., tai balono tūris bus M — m ir, vadinasi, oro svoris balone $L = d_0 (M - m)$. Taigi garų tankumas $\frac{D}{L} = \frac{m_1 - m}{M - m} \cdot \frac{1}{d_0} + 1$. Kadangi užlydant balono snapą garų temperatūra buvo t, o spaudimas b, o sveriant baloną su garais jų temperatūra buvo t_1 ir pataisytas spaudimas b_1, tai reikia dabar redukuoti garų tankumas nuo temperatūros t ir spaudimo b temperatūrai t_1 ir spaudimui b_1 einant Boyle - Mariott'o ir Gay - Lusac'o dėsniais. Padarę tai mes gausime $d = \left(\frac{m_1 - m}{M - m} \cdot \frac{1}{d_0} + 1\right) \cdot \frac{b_1}{b} \cdot \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha t_1}$ (čia α reiškia duju skėtimosi koeficientą).

Ką tik aprašytas Dumas'o metodas remiasi nustatymo svoriu tam tikro tūrio garų. Hofmano metodas garų tankumui surasti remiasi tūrio matavimu, kurį užima atsvertas nedidelis skystimo kiekis perkaitintų garų pavidalu. 69 piešinys atvaizduoja Hofmano aparatą. Svarbiausiąją jo dalį sudaro biuretė, arba padalintas į kub. mm. ilgokas stiklo vamzdis rr, uždaras iš vieno galo ir atdaras iš kito galo. Ant atdaro biuretės galo užmautas kamštis. Biuretės ilgis turi būti bent toks pat kaip barometrinio vamzdžio, vadinasi, 80 cm., skersmuo apie 1 cm. Pripylus biuretę gryno ir sauso gyvojo sidabro iki pat krantų ir net su kaupu ir užkimšus jį pirštu, arba stiklo plokštele, ji apverčiama atdaru galu žemyn ir įleidžiama šituo galu į tynę W su gyvuoju sidabru taip, kaip tai daroma atliekant Torricelli'o eksperimentą. Taigi viršutinėje biuretės dalyje susidarys Torricelli'o tuštuma. Ant taip paruoštos ir pastatytos biuretės užmaunama rankovė, arba mufta, RR pavidalu platesnio stiklo cilindro, taip kad tos rankovės apatinis galas aklai užeitų ant kamščio, užmauto ant biuretės. Šita

rankovė, arba mufta, reikalinga tam, kad apie biuretę galima būtų sudaryti nuolatinės temperatūros aplinką, leidžiant į tarpą tarp biuretės ir rankovės kokio nors verdančio skystimo garus. Tam tikslui viršutinis rankovės galas baigiasi siauresniu tiesiu kampu užlenktu vamzdžiu, kuris kaučuko vamzdžio pagalba sujungiamas su kitu tokiu pat vamzdžiu z, kurio tiesiu kampu atlenktas galas aklai įeina į katilo, arba puodo, K dangtį. Šitas puodas padėtas ant trikojo augštai ant stalo ir jame virinamas toks skystimas, kurio virimo temperatūra bent 20⁰—30⁰ augštesnė kaip bandomojo skystimo virimo temperatūra. Nuo apačios rankovės RR eina vamzdis a, kurio tiesiu kampu atlenktas galas sujungtas su žalčiu, arba vyniokliu, aušintuvo C, kuriame kondensuojasi garai verdančio katile K skystimo. Susikondensavę garai iš vynioklio varva į kolbą F. Inde C apie vynioklį palaikoma šalto vandens cirkulacija, kuris priteka vienu ir nuteka kitu iš parodytų piešiny dviejų kaučuko vamzdžių. Kaip rodo piešinys, rankovė RR tvirtai laikosi klemoje ant štatyvo, o biuretė rr tvirtai laikosi statinėj padėty dėka užmauto ant jos apatinio galo kamščio, ant kurio užstumtas aklai apatinis rankovės galas. Be to, mes čia turime dar kitą štatyvą (žiūr. iš dešinės piešinio pusės), kuris palaiko statinėj padėty stiebą su rodikliu M, kurio pagalba galima atskaityti gyvojo sidabro menisko augštis biuretėje.



Pieš. 69.

Bandomasai skystimas imamas mažame stiklo inde talpumo nuo $^1/_{10}$ iki $^2/_{10}$ kub. cm. cilindrinės formos su gerai prišlifuotu stiklo kamščiu, arba net mažutėje stiklo kolboje nurodyto tūrio, vadinamojoje ampulėlėje, kurios snapas, pripylus jį skystimo, užlydomas. Mažiukas cilindrinis indas su kamščiu, arba ampulėle, atsveriami ant tikslių svarstyklių iš pradžios su oru, o paskui pripylus juos bandomojo skystimo, pavyzdžiui, eterio, benzolio, spirito ir t. t. Skirtumas svorių duos mums paimtą bandomojo skystimo mase m. Atsvertas stiklo cilindras su kamščiu įkišamas iš apačios per gyvąjį sidabrą į skylę biuretės RR ir paleidžiamas. Kaipo lengvesnis už gyvąjį sidabrą tas mažiukas cilindras, arba ampulėlė, kįla savaime augštyn ir patenka į Torricelli'o tuštumą, ir jeigu jame patalpintas toks skystimas, kuris reiškia jau žymų garų spaudimą esant paprastai temperatūrai, tai tuo garų spaudimu prišlifuotas kamščiukas tuojau išmetamas, ir didžioji dalis, dažnai ir visas skystimas, tuojau išgaruoja, savo garų spaudimu varydamas žemyn gyvojo sidabro stulpą biuretėje.

O jeigu į Torricelli'o tuštumą patektų užlydyta ampulėlė, tai ji gali sprogti tik tada, kada patalpinto joje skystimo garų spaudimas paprastąja temperatūra yra labai žymus. Norint, išmušant kamštelį arba sprogstant ampulėlei, nesudaužyti biuretės, patariama įleisti mažiuką cilindrinį indą su skystimu arba ampulėlę iš apačios į biuretę, dar prieš užmaunant ant biuretės rankovę RR, kad galima būtų suteikti biuretei rr nuožulnią padėtį, paliekant jos atdarą galą tynėje W su gyvuoju sidabru. Suteikiant jai nuožulnią padėtį galima atsiekti tai, kad gyvasai sidabras pripildys Torricelli'o tuštumą, ir, vadinasi, išmušto kamštelio arba sprogstančios ampulėlės smūgis bus nuslopintas gyvojo sidabro, kuris vaidins čia vaidmenį savo rūšies taukšo. Savaime aišku, kad ampulėlės sienelės turi būti plonos, kad ji lengviau galėtų sprogti. Bet pažymėta čia priemonė reikalinga tik tais atvejais, kada mes turime reikalo su skystimais, kurių garų spaudimas esant kambario temperatūrai yra gana didelis. O kitais atvejais galima įleisti ampulėlę arba mažutį cilindrą su skystimu į biuretę, užmovus jau ant jos rankovę RR.

Atlikę tai, kas augščiau nurodyta, į katilą K įpilama iki 1/3 arba iki 1/2 jo tūrio skystimas, kurio virimo temperatūra, kaip jau anksčiau pasakyta, yra augštesnė kaip bandomojo skystimo virimo temperatūra, dažniausiai imamas vanduo. Tas skystimas virinamas, jo garai eina per tarpą tarp rankovės RR ir biuretės rr ir pagaliau tame tarpe nusistato nuolatinė temperatūra, kuri bus virimo temperatūra skystimo, įpilto į katilą K. (Neužmiršti atskaityti barometras, norint šitą temperatūrą tiksliai surasti iš garų spaudimo lentelių.) Pradėjus šilti tarpui tarp biuretės ir rankovės, bandomojo skystimo garų spaudimas auga ir varo vis žemyn ir žemyn gyvojo sidabro stulpą biuretėje. Kada biuretė ir jos turinys priima verdančio katile K skystimo garų temperatūrą, tai gyvojo sidabro stulpas nustoja slinkęs žemyn. Tada atskaitomas užimtas bandomojo skystimo garų tūris v esant t temperatūrai, vadinasi, nuo biuretės uždaro galo iki gyvojo sidabro menisko (čia t reiškia skystimo katile K virimo temperatūrą), atskaitomas taipogi ir gyvojo sidabro stulpo augštis iešmos rodiklio M pagalba. Tegu tas augštis bus h, skaitant nuo gyvojo sidabro paviršiaus tynėje W. Pagaliau atskaitomas barometras. Tegu jo parodymas bus b mm. Be to, reikia surasti gyvojo sidabro garų spaudimas esant temperatūrai t iš lentelių. Tegu tai bus p mm.

Taigi mes dabar turime v cm.³ bandomojo skystimo garų esant t temperatūrai ir spaudimui, kuris yra lygus, išreiškiant jį milimetrais, barometro parodymui minus gyvojo sidabro stulpas biuretėje. Kadangi atskaitant barometrą, jo parodymai visuomet reikia redukuoti nulio laipsnio temperatūra, tai tiksliai spaudimui surasti reikia paimti barometro parodymui $b_0 = \frac{b}{1+at^1}$ ir gyvojo sidabro stulpui biuretėje $h_0 = \frac{h}{1+at}$ (čia a reiškia gyvojo sidabro skėtimosi koeficientą, o t^1 — barometro temperatūrą). Taigi spaudimas, kuriuo spaudžiami bandomojo skystimo garai biuretėje, bus $b_0 - h_0 - p$ mm. gyvojo sidabro stulpo.

Paimtas bandymui skystimas sveria m gramų ir esant t^0 temperatūrai užima v cm.³, vadinasi, $\frac{m}{v}$ bus tų garų tankumas esant t temperatūrai, arba lyginamasai svoris vandens atžvilgiu. O mums reikia surasti tų garų lyginamąjį svorį sauso gryno oro atžvilgiu. 1 cm.³ sauso gryno oro sveria 0,001293 gramo nulio laipsnio temperatūra ir 760 mm. spaudimu. Esant temperatūrai t ir spaudimui $b_0 - h_0 - p$, einant Boyle-Mariott'o ir Gay-Lusac'o dėsniais, 1 cm.³ oro svers

$$\frac{0,001293\,(b_0 - h_0 - p)}{(1+\alpha t)\,760}.$$

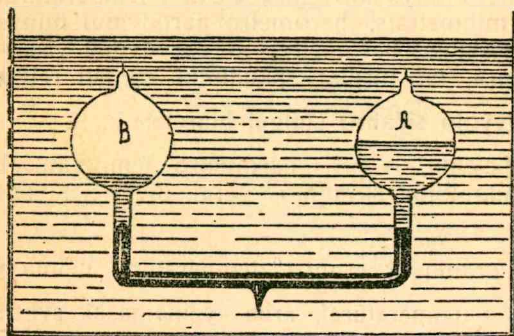
Taigi bandomojo skystimo garų tankumas arba lyginamasai svoris sauso ir gryno oro atžvilgiu bus

$$d = \frac{m}{v} : \frac{0,001293\,(b_0 - h_0 - p)}{(1+\alpha t)\,760} = \frac{m}{v} \cdot \frac{1+\alpha t}{0,001293} \cdot \frac{760}{(b_0 - h_0 - p)}.$$

Dažnai šitos formulos pakanka, norint gana tiksliai apskaityti garų tankumas. Bet kur reikalaujamas didesnis tikslumas, kaip grynai moksliškuose tyrinėjimuose, reikia pirmiausia atminti, kad užimtas biuretės tūris irgi didėja nuo šilimos, vadinasi, didėja kiekvienas tos biuretės tūrio vienetas, einant lygtimi $V = V_0\,[1 + 0,000025\,(t - 18)]$. Čia 0,000025 reiškia kubinį stiklo skėtimosi koeficientą, o 18^0 reiškia kambario temperatūrą. Taigi tam v reikia paimti tą skaičių kubiniais centimetrais, kuris atskaitytas, padauginus jį iš binomo kvadratiniuose skliaustuose.

Be to, redukuojant barometro parodymą ir gyvojo sidabro stulpą biuretėje nulio laipsnio temperatūra reikia turėti galvoj ir skalės pasikeitimą nuo šilimos, kaip jau smulkiai nurodyta § 5 paskutinėse eilutėse. Taigi su pataisomis skalės išsiskėtimui mes turėsime $b^0 = b - bt^1\,(0,000182 - \beta)$ ir $h_0 - ht\,(0,000182 - \beta)$. Čia 0,000182 reiškia gyvojo sidabro skėtimosi nuo šilimos, o β skalės ilginį skėtimosi koeficientą. Kalbamuoju atsitikimu tai bus stiklo ilginis skėtimosi koeficientas.

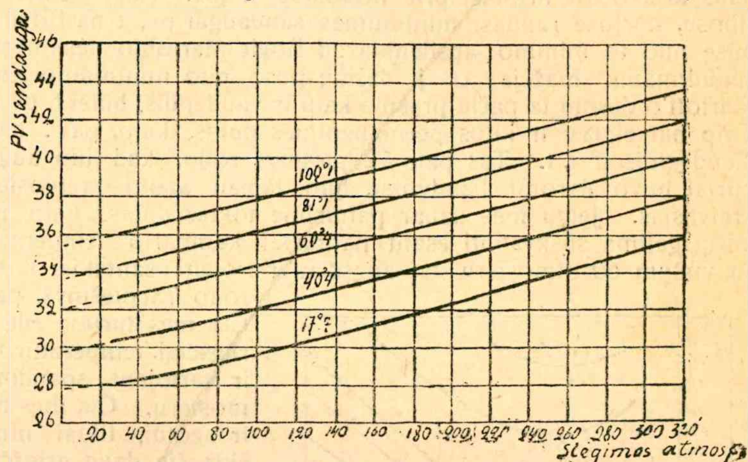
Aprašytais dviem metodais surandamas perkaitintų garų tankumas, nes ir Dumas'o ir Hofmano eksperimente mes turime garus išnykus skystai fazei, o tokiais atvejais garai visuomet bus perkaitinti, ne sotūs. Taigi aprašysime čia dar Fairbairn'o ir Tate'o metodą sočių garų tankumui surasti. Jeigu mes galėtume fiksuoti temperatūrą, esant kuriai išnyksta paskutinis skystimo lašelis, vadinasi, galėtumėm aiškiai akimis pagauti to lašelio išnykimą, tai uždarę tam tikrą skystimo kiekį inde be oro, įdėję tą indą į tynę ir nuosakiai pamaži keldami tynės temperatūrą, stengtumės pagauti tą momentą, kada išnyksta paskutiniai likučiai skystimo, ir tuojau fiksuoti tynės temperatūrą. Iš Regnault'o nustatytų lentelių mes surastumėm, koksai tų sočių garų spaudimas fiksuotąja temperatūra ir, žinodami tą spaudimą ir paimto indo tūrį, galėtumėm apskaityti garų tankumą. Bet pagauti akimis perėjimą paskutinio skystimo lašelio į garų stovį praktiškai negalimas daiktas. Todel prisieina ieškoti kitų netiesioginių būdų šitam momentui pagauti. Tas kitas būdas remiasi tuo faktu, kad sočių garų spaudimas auga kįlant temperatūrai daug smarkiau kaip nesočių, arba perkaitintų, garų spaudimas, kaip jau mes matėme kalbėdami apie sočių ir nesočių garų spaudimo matavimą barometrinių vamzdžių pagalba. Šituo faktu remiasi Fairbairn'o ir Tate'o metodas, kurių aparatą atvaizduoja 70 piešinys. Mes čia turime tiesiu kampu dvigubai sulenktą stiklo vamzdį, išpūstą abiejuose galuose rutulių A ir B pavidalu. Į dvigubai sulenktą vamzdį įpilama gyvojo sidabro, kuris abiejose šakose stovės tuo pačiu augščiu. Į abudu rutulius A ir B įpilamas bandomasai skystimas, į vieną, sakysime, rutulį A, žymiai daugiau kaip į rutulį B. Išsiurbus iš rutulių orą siurblio pagalba abiejų rutulių galai užlydomi, ir aparatas įdedamas į tynę su vandeniu arba su kitu kokiu skystimu. Be to, tynėje turi būti termometras ir maišiklis. Jeigu skystimas yra žymiai lengvesnis kaip gyvasai sidabras, tai įpylus skystimo į rutulį A daugiau, o į rutulį B mažiau, taip mažai pasikeis gyvojo sidabro augštis abiejose šakose, jog skirtumas tarp jų tegalima bus išmatuoti tiktai katetometro pagalba. Vadinasi, čia su šituo skirtumu galima ir nesiskaityti. Pradėjus šildyti tynę reikia gerai maišyti, kad temperatūra visoj tynėj būtų kuo vienodesnė. Kįlant temperatūrai, abiejuose rutuliuose mes turėsime sočių garų spaudimą pakol abiejuose rutuliuose bus skysta fazė, vadinasi, tą patį spaudimą. Todel gyvojo sidabro meniskų padėtis sulenkto vamzdžio šakose nesikeis. Bet kaip tik rutuly B, kur mes turime mažiau skystimo, paskutiniai likučiai skystimo išgaruos, tai tuojau spaudimas iš pusės rutulio A ims mainytis smarkiau kaip iš pusės rutulio B, kas apsireikš žymiu pakilimu augštyn gyvojo sidabro sulenkto vamzdžio šakoje B. Taigi čia mes tą paskutinį perėjimą skystos fazės į garų fazę aiškiai pamatysime ir galėsime užfiksuoti to perėjimo temperatūrą. Tegu iš Regnault'o lentelės mes rasime, kad sočių garų spaudimas, esant tai fiksuotai temperatūrai, bus p mm. Tad sočių garų kiekis 1 kub. metre gramais bus $q = \frac{1{,}058\ p.}{1 + 0{,}00367\ t.}$ (žiūr. 14 §). Iš čia jau lengva apskaityti garų kiekis rutuly B, jeigu prieš darant eksperimentą to rutulio tūris buvo išmatuotas, ir, vadinasi, apskaityti sočių garų tankumas d esant t temperatūrai. Savaime suprantama, kad imdami didesnius skystimo kiekius rutuly B, bet visuomet tiek, kad visas skystimas galėtų išgaruoti rutulio B tūryje, mes čia turime galimumo nustatyti sočių garų tankumą įvairioms temperatūroms ir surasti empirinę lygtį, kuri rodo, kaip mainosi sočių garų tankumas keičiantis temperatūrai.



Pieš. 70.

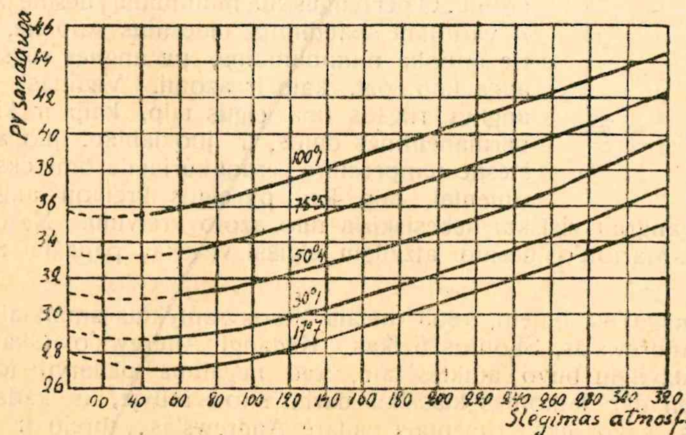
17 §. Skysto, garų ir dujiško būvio apžvalga. Apsilenkimas su Boyle-Mariott'o dėsniu permanentinių dujų ir perkaitintų garų. Regnault'o, Amagat'o ir Andrews'o tyrinėjimai. Krizio temperatūra ir krizio spaudimas. Van der Waals'o lygtis ir tolydinis (be pertraukos) perėjimas iš skysto į dujišką būvį ir atbulai. „Atitinkamieji" (koresponduojantieji) taškai.

Norėdami ryškiau demonstruoti santykius, kurie veikia tarp tos pačios medžiagos skysto, garinio ir dujiško būvio, padarysime čia dar apžvalgą šitų santykių Boyle-Mariott'o dėsnio atžvilgiu. Hidrodinamikos ir aerodinamikos skyriuje (žiūr. 64 pusl.) mes jau matėme, kad Boyle-Mariott'o dėsnis pv = const. veikia tik idealinėms dujoms. Visos realinės dujos mažiau ar daugiau apsilenkia su šituo dėsniu, kaip parodė Regnault'as savo tyrinėjimais dujų elgesio esant spaudimams, didesniems kaip 2—3 atmosferos. Iš davinių, Regnault' o nustatytų, išeina, kad aplamai iki spaudimų 2—3 atmosferos, vadinamosios permanentinės dujos (kurių jokiais spaudimais negalima suskystinti esant paprastai temperatūrai) eina Boyle-Mariott'o dėsniu. Vadinasi, šitose spaudimo ribose sandauga pv yra gangreit pastovus dydis. Bet esant didesniems spaudimams kaip 2—3 atmosferos ta sandauga visoms dujoms mažėja augant spaudimams, išskyrus vandenilį. Taigi išeina, kad dauguma permanentinių dujų, esant įdidesniems spaudimams, susispaudžia smarkiau negu to reikalauja Boyle-Mariott'o dėsnis.



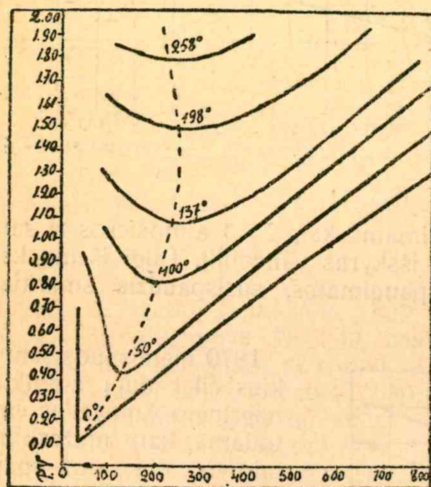
Pieš. 71

1870 metais tuos santykius eilei dujų smulkiai nagrinėjo Amagat'as, vartodamas kaip mažesnius, taip ir didesnius spaudimus kaip Regnault'as (Amagat'o manometro, kuriuo jis matavo spaudimus, atdara šaka buvo iki 65 metrų ilgio). Paduosime čia Amagat'o nustatytus davinius vandeniliui ir azotui, išreikšdami juos grafiškai, būtent: atidėdami ant abscisų pavartotus Amagat'o spaudimus atmosferomis, o išilgai ordinatos — sandaugą pv. 71 piešinys atvaizduoja eigą pv vandeniliui įvairioms temperatūroms pradedant nuo 17⁰ iki 100⁰. augant spaudimams nuo 0 iki 320; o 72 piešinys tą patį



Pieš. 72.

azotui. Sandauga pv vandeniliui pradedant nuo mažų spaudimų ir baigiant dideliais spaudimais, kaip rodo 71 piešinys, visą laiką auga temperatūros ribose nuo 17° iki 100°, ir tos sandaugos kitėjimas augant spaudimams išreiškiamas tiesiomis linijomis. Vadinasi, vandenilis visą laiką susispaudžia mažiau negu to reikalauja Boyle-Mariott'o dėsnis. Pastarųjų laikų tyrinėjimai rodo tokį pat helijaus elgesį. O azoto elgesys kitoks, kaip rodo 72 piešinys. Pradedant nuo mažų spaudimų ir iki 40 atmosferų spaudimo sandauga pv čia mažėja, o augant spaudimams toliau ta sandauga kaip ir vandeniliui ima didėti, taip kad reprezentuojančios eigą pv kreivosios azoto, vadinamosios izotermos, iš pradžios išgaubtos į abscisos pusę, o paskui kįla augštyn, vadinasi, turi minimumą. Juo augštesnė temperatūra, esant kuriai buvo daromi Amagat'o eksperimentai, juo mažesnis išsigaubimas pirmos dalies kreivosios ir juo labiau antra dalis kreivosios artinasi prie tiesiosios linijos. Taigi išeina, kad azotas tose spaudimo ribose, kuriose randasi minimumas sandaugai pv, eina Boyle-Mariott'o dėsniu; į kairę pusę nuo to minimo apsilenkia su Boyle-Mariott'o dėsniu ta prasme, kad pv, augant spaudimams, mažėja; o į dešinę pusę nuo minimumo azotas apsilenkia su Boyle-Mariott'o dėsniu ta pačia prasme kaip ir vandenilis, būtent, pv auga, augant spaudimams. Taip pat elgiasi ir kitos permanentinės dujos, kaip, pav., deguonis, metanas, anglies viendeginis ir t. t. Tas pats 72 piešinys rodo, kad juo augštesnė temperatūra, esant kuriai buvo daromi bandymai, juo labiau azoto kreivosios panašios į vandenilio kreivąsias. Jeigu mes dabar paimsime tokias dujas, kaip, pavyzdžiui, anglies rūgštis, kurią galima suskystinti esant paprastai kambario temperatūrai pavartojus spaudimą su viršum 60 atmosferų, tai augsčiau nurodyti santykiai apsireiškia dar ryškiau, kaip rodo 73 piešinys, paimtas iš Amagat'o darbų. Čia mes turime eilę kreivųjų pv eigos anglies rūgščiai temperatūros ribose nuo 0° iki 258° ir vartojant spaudimus nuo 30 iki 800 atmosferų. Čia mes matome tą patį vaizdą kaip ir azotui, tiktai minimumai kreivųjų apsireiškia čia daug griežčiau. Vadinasi, temperatūroms nuo 0° iki 100° pv anglies rūgščiai, augant spaudimams, mažėja daug smarkiau negu azotui, ir apsilenkimas su Boyle-Mariott'o dėsniu čia daug didesnis. Ir čia spaudimo ribose iš abiejų pusių minimumo netoli nuo to minimumo anglies rūgštis gangreit eina Boyle-Mariott'o dėsniu. O peržengus šitą minimumą į dešinę pusę ir vartojant spaudimus, didesnius kaip tie, kurie atitinka minimumams, pv anglies rūgščiai auga taip pat, kaip ir azotui. Vadinasi, čia anglies rūgštis ima elgtis taip, kaip ir kitos permanentinės dujos, ir juo labiau, juo augštesnė temperatūra, esant kuriai daromi eksperimentai, taip kad pv eigos kreivoji anglies rūgščiai temperatūrai 258° gangreit visiškai nebesiskiria nuo azoto kreivųjų. Nesotūs arba perkaitinti garai Boyle-Mariott'o dėsnio atžvilgiu elgiasi visiškai panašiai kaip anglies rūgštys.

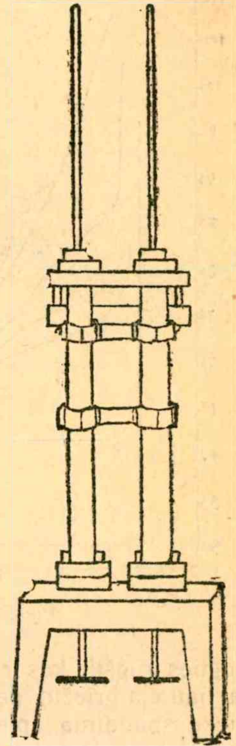


Pieš. 73.

Dar anksčiau kaip Amagat'as, būtent, 1863 metais šituos santykius smulkiai išnagrinėjo anglies rūgščiai Andrews'as, Škotijos fizikas. Kadangi Andrews'o (skaityk Endrijus) darbas precizijos atžvilgiu buvo atliktas taip, kad negalima padaryti jokių užmetimų, ir todel ir šiandien dar laikomas klasišku darbu šitoje srityje, ir kadangi išvados, kurias remdamasis savo eksperimentais padarė Andrews'as, turėjo ir turi didžiausios reikšmės skystam, gariniam ir dujiškam stoviui pažinti, tai bus ne pro šalį trumpai aprašyti čia Andrews'o metodą. 74 piešinys atvaizduoja vamzdį, kurį vartojo Andrews'as smarkiai anglies rūgščiai spausti. Tai yra vamzdis iš gero stipraus stiklo storomis sienomis, platesnis savo vidurinėje dalyje ir susiaurintas apatinėje ir

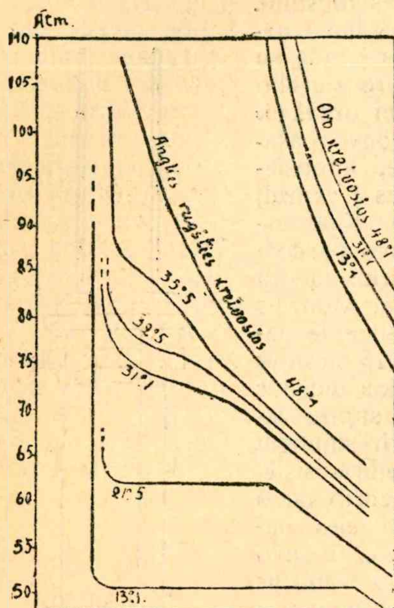
viršutinėje dalyse. Prieš darant eksperimentą viršutinė dalis gyvojo sidabro pagalba buvo tiksliai kalibruota, taip kad tos dalies kiekvieno centimetro ilgio tūris buvo nustatytas lygiai kaip ir santykis tūrių tos viršutinės ir vidurinės dalių. Paskui per šitą vamzdį gangreit per 24 valandas buvo varoma gryna ir sausa anglies rūgštis, pašalinti iš to vamzdžio visam orui ir užpildyti jį anglies rūgštimi. Atsiekus tai, viršutinės vamzdžio dalies galas buvo užlydytas, apatinis vamzdžio galas buvo įleistas į indą su gyvuoju sidabru, su tuo indu pastatytas ant oro siurblio lėkštės ir aklai užvožtas gaubtuvu. Evakuojant orą iš po gaubtuvo dalis anglies rūgšties iš vamzdžio buvo pašalinta ir todel sujungus gaubtuvą su atmosfera, atmosferos spaudimu gyvasai sidabras buvo įvarytas į vamzdį (vadinasi, į apatinę ir vidurinę vamzdžio dalį). Kitas tokio pat ilgio ir tokio pat kalibro vamzdis buvo paruoštas visiškai taip pat ir pripildytas oro, uždarius tą orą iš apačios irgi gyvuoju sidabru. Šitas antrasai vamzdis buvo reikalingas tam, kad galima būtų spręsti apie pavartotus spaudimus iš oro tūrio sumažėjimo. 75 piešinys atvaizduoja Andrews'o aparatą, kuriuo jis reiškia didelius spaudimus. Tas aparatas susideda iš dviejų stiprių varinių vamzdžių, pritrauktų prie stipraus stalo ir sujungtų tarp savęs skersiniais vamzdžiais, taip kad išeitų susisiekiamasai indas. Per dugną vieno ir kito vamzdžio buvo įleisti stumekliai, sujungti su sraigtais, kurių galvelės matosi stalo apačioje. Į vieną iš tų varinių vamzdžių buvo įdėtas augščiau aprašytu būdu paruoštas stiklo vamzdis su anglies rūgštimi, į kitą su oru, taip kad viršutinės tų vamzdžių dalys būtų visu savo ilgiu išsikišusios iš varinių vamzdžių. Paskui abudu variniai vamzdžiai buvo sklidinai pripilti vandens be oro ir aklai uždaryti sraigtiniais dangčiais su skylėmis išsikišusioms stiklinių vamzdžių dalims. Sukant sraigtus iš apačios, vanduo variniuose vamzdžiuose buvo spaudžiamas stumekliais, sujungtais su sraigtais, ir tas spaudimas buvo suteikiamas gyvojo sidabro pagalba kaip anglies rūgščiai taip ir orui. Iš pakilimo gyvojo sidabro stulpelio išsikišusiose vamzdžių dalyse sprendžiama buvo apie tūrio sumažėjimą kaip anglies rūgšties, taip ir oro, o iš oro tūrio sumažėjimo buvo apskaitoma pavartotas spaudimas. Išreikšdami gautus Andrews'o rezultatus grafiškai, mes gausime diagramą, kurią atvaizduoja 76 piešinys ir iš kurios galima išskaityti santykius tarp spaudimo ir tūrio anglies rūgščiai temperatūroms 13°,1, 21°,5, 31°,1, 32°,5, 35°,5, 48°,1 ir vartojant spaudimus nuo 48 atmosferų ligi 108 atmosferų. Čia ant abscisos atidėti tūriai, o išilgai ordinatos — spaudimai, atitinkantieji tiems tūriams. Viršutinėje diagramos dalyje sulyginti patalpintos kreivosios orui temperatūroms 13°,1, 31°,1 ir 48°,1. Kiekviena iš tų kreivųjų reiškia pareiną tarp tūrio ir spaudimo, esant nuolatinei temperatūrai. Taigi šitos kreivosios vadinasi izotermos — nuo graikų žodžių „izos" ir „termos", kas reiškia „lygios temperatūros". Ankščiau išnagrinėtos Amagat'o kreivosios irgi yra izotermos, tiktai ten jos reiškia pareiną tarp spaudimo ir pv esant nuolatinei temperatūrai. Idealinėms dujoms visos tokios izotermos sudaro lygiašionės, arba tiesiakampinės, hiperbolos dalį, kaip jau mes matėme „Skysčių ir dujų" skyriuje (65 puslapis).


Pieš. 74.


Pieš. 75.

Paimsime izotermą 13°,1 spaudimams, mažesniems kaip 50 atmosferų; tos izotermos dalis irgi mažai kuo tesiskiria nuo hiperbolos, ir didinant spaudimus bent iki 50 atmosferų anglies rūgštis 13°,1 seka pusėtinai Boyle-Mariott'o dėsniu, vadinasi, šito spaudimo ribose esant nurodytai temperatūrai į anglies rūgštį galima žiūrėti kaipo į permanentines dujas. Bet pasiekus 50 atmosferų spaudimą, kreivojoje apsireiškia

griežtas perlūžis ir esant tam spaudimui Andrews'as pastebėjo stiklo vamzdžio išsikišusioje dalyje rūką. Vadinasi, esant temperatūrai 13^0,1 ir spaudimui apie 50 atmosferų anglies rūgštis ima kondensuotis. Tolimesnis tūrio mažinimas (išilgai abscisos) nebeliečia spaudimo, nes vamzdyje vis daugiau ir daugiau darosi skystos anglies rūgšties ir vis mažiau ir mažiau belieka dujiškos anglies rūgšties. Bet turėdami kontakte skystą ir dujišką fazes, mes turėsime visą laiką nuolatinį sotų anglies rūgšties garų spaudimą, pakol visa anglies rūgštis pavirs skystimu. Šitas anglies rūgšties kondensacijos, arba skystėjimo, procesas atvaizduotas čia izotermos dalimi lygiagrečiai abscisai. Kada visa anglies rūgštis virsta skystimu, mes turime naują kreivosios perlūžį ir nuo to momento turime tik skystą fazę, taip kad darydami pastangas sumažinti tūrį toliau, gausime labai didelį spaudimo kilimą, — izotermos dalis čia eina gangreit lygiagrečiai ordinatai, gangreit stačiai, — nes, kaip jau mes žinome, reikia pavartoti milžiniškus spaudimus norint šiek tiek suspausti skysčius.

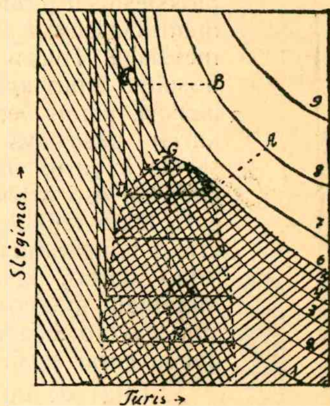


Pieš. 76.

Kita izoterma 21^0,5 visais atžvilgiais yra panaši į izotermą 13^0,1, skirtumas tik toks, kad gulsčioji tos izotermos dalis, lygiagrečiai abscisai, yra trumpesnė, o dalis, kuri atitinka dujiškam stoviui, yra ilgesnė, ir rūkas vamzdy pasirodo pasiekus spaudimą apie 61 atmosferą. Vadinasi, esant augštesnei temperatūrai anglies rūgščiai suskystinti reikia pavartoti didesnius spaudimus. Bet ir esant temperatūrai 21^0,5 spaudimu, truputį didesniu kaip 61 atmosfera, galima suskystinti visą anglies rūgštį, kas ir buvo Andrews'o konstatuota. O jeigu mes paimsime izotermą 31^0,1, tai jau čia griežto perlūžio kreivosios tnebėra. Mes teturime tik įlenkimą kreivosios, pasiekę spaudimą apie 72 atmosferas, be jokio rūko, jokios kondensacijos anglies rūgšties nebegalima konstatuoti. Iš čia Andrews'as padarė išvadą, kad esant temperatūrai 31^0,1 jokiais spaudimais nebegalima suskystinti anglies rūgšties, ir Andrews'as pavadino šitą temperatūrą anglies rūgšties krizio temperatūra. Savaime suprantama, kad negalima suskystinti anglies rūgšties ir esant augštesnėms temperatūroms kaip 31^0,1, nes augštesnėms temperatūroms anglies rūgštis elgiasi visiškai taip pat kaip permanentinės dujos, kaip tai matyti iš jos izotermos esant 35^0,5 ir esant 48^0,1, kurios izotermos, ypač pastaroji, jau nebesiskiria niekuo, sakysime, nuo oro izotermos, atvaizduotos 76 piešinio diagramos viršutinėje dalyje. O žemiau krizio temperatūros, pavartojus didelius spaudimus, galima suskystinti anglies rūgštį, ir juo lengviau, juo žemesnė bus temperatūra, esant kuriai dirbama. Iš čia Andrews'as pirmutinis padarė išvadą, kad norint suskystinti permanentines dujas, sakysime, orą, reikia pirmiausia atvėsinti dujas bent kiek žemiau kaip jų krizio temperatūra, nes tik tada, vartojant didesnius arba mažesnius spaudimus, tegalima paversti dujas skystimu.

Įsižiūrėsime dar į 77 piešinį, kuris atvaizduoja eilę izotermų tokiai medžiagai, kuri, esant paprastoms temperatūroms ir spaudimams, gali būti tiktai skystame ir dujiškame stovyje. Čia mes turime irgi eilę izotermų 1, 2, 3, 4, 5, kurios visos turi gulsčią dalį, lygiagrečią abscisai, dalį, kuri reiškia koegzistenciją skystos ir dujiškos fazių. Kaip rodo piešinys, šita dalis darosi vis trumpesnė ir trumpesnė einant nuo izotermų žemesnėms temperatūroms prie izotermų augštesnėms temperatūroms. Izoterma 6 visiškai nebeturi gulsčios dalies ir taške G reiškia tiktai silpną kreivosios perlūžį. Vadinasi, izoterma 6 yra ne kas kita, kaip krizio temperatūros izoterma. Augščiau kaip krizio temperatūra izotermos 7, 8, 9 yra visiškai panašios į izotermas

permanentinių dujų. 77 piešinio diagramoje mes turime tris sritis: vieną iš kairės pusės, išbraižytą linijomis, einančiomis nuožulniai iš kairės pusės žemyn — tai bus išimtinai skystos fazės sritis; kitą iš dešinės pusės, pažymėtą tiesiomis linijomis, einančiomis nuožulniai iš dešinės pusės žemyn — tai bus išimtinai perkaitintų garų sritis; trečią, pažymėtą nuožulniomis linijomis, einančiomis iš kairės pusės ir iš dėšinės pusės žemyn — tai bus skystos ir garų fazės koegzistencijos sritis. Pagaliau yra dar ir ketvirtoji sritis, neišbraižyta linijomis— tai permanentinių dujų sritis. Paimsime dabar tašką A ant izotermos 8 esant paprastai temperatūrai ir palaikydami nuolatinę temperatūrą imsime mažinti tūrį, vadinasi, imsime spausti, pakol pasieksime, sakysime, taško B, kuriam atitinka ant abscisos mažesnis tūris ir ant ordinatos didesnis spaudimas kaip taškui A. Pasiekę tašką B imsime vėsinti dujas, palaikydami nuolatinį spaudimą. Dujos trauksis, jų tūris mažės, ir pagaliau bus pasiektas taškas C išilgai linijos BC; šis taškas randasi skystos fazės srityje. Taigi mes iš pradžios spausdami, esant nuolatinei temperatūrai, o paskui vėsindami, esant nuolatiniam spaudimui, visiškai nuosakiai be jokios pertraukos pereisime iš dujiškos fazės į skystą fazę. Vadinasi, jokio griežto perėjimo nuo duju stovio į skystą stovį nėra. Taigi Andrews'as sako: „Į skystą ir dujišką materijos stovį reikia žiūrėti tik kaipo į atskirus laipsnius ilgos eilės tolydinių, be pertraukos, fizinių atmainų“.



Pieš. 77.

Pasiekę tašką C imsime dabar mažinti spaudimą palaikydami nuolatinę temperatūrą. Tad mes pasieksime tašką D išilgai linijos CD ir tuo momentu pasirodys meniskas, dėka kurio mes pastebėsime atskirai skystą ir garų fazę. Taigi mes čia tolydžio pereisime nuo skystos fazės prie garų fazės. Į meniską reikia žiūrėti kaipo į charakteringą skysto stovio apsireiškimą, kuris visuomet pasirodo ten, kur yra skystos fazės riba nuo dujiškos fazės. O dujiška, arba garų, fazė neturi paviršiaus reiškinių, vadinasi, nerodo ir menisko apsireiškimų. Išilgai gulsčios linijos DE lygiagrečiai abscisai mes turėsime koegzistenciją skystos ir garų fazės, o nuo taško E pereisime į perkaitintų garų sritį ant izotermos 4. Taigi čia mes tolydžio perėjome nuo permanentinių dujų stovio taške A į skystą stovį taške C, į sotų garų stovį išilgai linijos DE ir į perkaitintų garų stovį ant izotermos 4.

Fiksuosime dabar tašką F ant izotermos I 77 piešinio. Atitinkantis tam taškui tūris ant abscisos dalinai užimtas skysta faze, dalinai sočiais garais. Nemainydami tūrio kelsime dabar temperatūrą. Tad mes iš eilės pasieksime taškus ant izotermų 2, 3, 4, 5 ir pagaliau pasieksime tašką G ant izotermos 6. Keliant temperatūrą, užimtas skysčio tūris didėja, bet jeigu nuo pat pradžios buvo nedaug skysčio, tai iki bus pasiektas taškas G skystis neužims viso tūrio, ir, vadinasi, pasiekę tašką G mes pastebėsime meniską išnykus, vadinasi, konstatuosime tolydinį perėjimą skystos fazės į garų fazę esant krizio temperatūrai ir krizio spaudimui, kuris bus ne kas kita, kaip spaudimas atitinkąs taškui G išilgai ordinatos. Pasiekus šitą tašką G visas tūris bus užimtas homogenine medžiaga. Prieš išnykstant meniskui taške G jis darysis vis labiau ir labiau plokščias ir plonas pakol visiškai išnyks pasiekęs tašką G.

Aprašytą čia skystos fazės išnykimą esant krizio temperatūrai dar 1822 metais demonstravo Cagnard de La Tour'as, pagalba paprasto aparato, kurį atvaizduoja 78 piešinys. Tai yra U-pavidalo sulenktas stipraus stiklo vamzdis, kurio dešinioji trumpesnė šaka išpūsta cilindro pavidalu. Į tą dešinę šaką pilamas gyvasai sidabras bent iki 3/4 cilindro tūrio, ir kairioji šaka, ilgesnė, viršuje užlydoma, taip kad joje viršum gyvojo sidabro randasi oras. Viršum gyvojo sidabro į cilindrą pripilama bandomojo skystimo, sakysime, eterio, arba skysto SO_2, ir įdėjus į tynę, tas skystimas virinamas, taip kad jis užimtų ne daugiau kaip 1/3 dalį viso tūrio viršum gyvojo

sidabro cilindre, o 2/3 dalys to tūrio būtų užimtos sočiais bandomojo skystimo garais. Pasiekus tai, cilindras iš viršaus irgi užlydomas. Paruoštas tokiu būdu aparatas įdedamas į vandens, glicerino arba skysto parafino tynę, kurios pagalba jis kaitinamas. Darant tai skystimas skečiasi užimdamas vis didesnį ir didesnį tūrį, vadinasi, jo tankumas mažėja. Tuo pačiu laiku garų spaudimas ir jų tankumas didėja, o meniskas darosi vis plokštesnis ir plonesnis. Pagaliau pasiekiama tokia temperatūra, esant kuriai meniskas išnyksta ir viršum gyvojo sidabro randasi cilindre visiškai homogeninė medžiaga. Toksai stovis pasiekiamas esant krizio temperatūrai, kurią ir galima nustatyti šituo aparatu, įdėjus į tynę jautrų termometrą. Atėmus nuo tynės liepsną, ji ims vėsti ir vėstant vėl bus pasiekta tokia temperatūra, esant kuriai pasirodys meniskas, ir, vadinasi, vėl susidarys abidvi fazės— skysta ir garų. Tai bus vėl ta pati krizio temperatūra. Pabrėšime čia dar, kad, kai esti krizio temperatūra, ne tiktai išnyksta skirtumas tarp skystos ir garų fazės tankumo atžvilgiu, bet ir kohezijos jėgų atžvilgiu. Vadinasi, esant krizio temperatūrai perėjimui iš skysto stovio į garų stovį nereikalinga atlikti jokio darbo, kitaip sakant, slaptoji garavimo šilima darosi lygi nuliui. Matuojant gyvojo sidabro stulpo augštį ilgesnėje aparato šakoje ir oro viršum gyvojo sidabro susitraukimą galima nustatyti krizio spaudimas, kurį duoda garai esant krizio temperatūrai.



Pieš. 78.

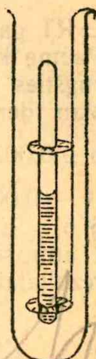
Taigi de La Tour'o eksperimentas realizuoja tolydinį perėjimą nuo skysto stovio į garų stovį išaiškintą anksčiau 77 piešinio diagramos pagalba, tik toks skirtumas, kad diagramos pagalba mes pereiname nuo skysto stovio į garų stovį keldami spaudimą ir palaikydami nuolatinį tūrį (išilgai linijos FG), tuomet kaip Cagnard de La Tour'o eksperimente mainosi ne tik spaudimas, bet ir skysčio tūris.

Aprašysime čia dar eksperimentą tolydiniam perėjimui nuo skystos fazės į garų fazę, kurį galima parodyti didelei auditorijai pagalba aparato, kurį atvaizduoja 79 piešinys. Esencialė šito aparato dalis — stipraus stiklo vamzdis storomis sienomis nuo 3 iki 4 mm. diametro. Tas vamzdis iki 1/3 dalies savo tūrio ar net iki 1/2 pripilamas skysto sieros dvideginio SO_2 — dujos, kurias dar lengviau suskystinti kaip anglies rūgštis, ledo ir druskos mišinio pagalba, nes skystas SO_2 verda jau -11^0 temperatūra esant normaliniam spaudimui. Sieros dvideginio krizio temperatūra 155^0, o krizio spaudimas 79 atmosferos. Pilant skystą SO_2 į vamzdį, oras iš vamzdžio bus išvarytas, ir neužimta skystimu vamzdžio dalis bus užimta sočiais SO_2 garais. Tad vamzdžio galas užlydomas (paprastai tas vamzdžio galas yra šiek tiek ištemptas ir įleidus į vamzdį skystimą tas galas nutempiamas lydymo lempos pagalba). Vamzdis su skystu SO_2 įdedamas į dvi grindis turėtojo iš vielos ir, kaip rodo piešinys, įleidžiamas į platesnį bandymų vamzdį. Bandymų vamzdis pripilamas glicerino arba skysto parafino,—abudu skaidrūs skysčiai,—kurių virimo temperatūra yra augščiau kaip 155^0. Jeigu dabar taip paruoštą aparatą proekcijos aparato pagalba atmušti ant ekrano, tai dideliam žmonių skaičiui bus aiškiai matomas meniskas, kuris sudaro ribą tarp skystos ir sočių garų fazės. Be to, vamzdžio dalis užimta garais atrodys tamsesnė, kaip ta dalis, kuri užimta skystimu, del smarkesnės sočių garų šviesos absorpcijos. Kaitinant dabar iš apačios bandymų vamzdį Bunseno arba spirito lempos pagalba, glicerino, arba parafino, tynės temperatūra eis augštyn ir, vadinasi, pamaži nuosakiai ims kilti skysto SO_2 temperatūra. Skystimo užimtas tūris darysis vis didesnis ir didesnis, vadinasi, meniskas kils augštyn (ant ekrano atbulai slinks žemyn, nes ant ekrano bus atvirkščias vaizdas). Tuo pačiu laiku meniskas darysis vis plokštesnis ir plonesnis. Pagaliau, kada temperatūra tynės ir, vadinasi, skysto SO_2 pasidarys truputį augštesnė kaip 155^0, meniskas išnyks, ir visas vamzdis bus pripildytas homogeninėmis dujomis. Jeigu būtų ne toks smarkus šviesos lūžis einant spinduliams per šitą homogeninę medžiagą, tai atrodytų, kad, tarytum, visas vamzdis užimtas tuštuma. Atėmus dabar Bunseno lempą nuo bandymų vamzdžio, parafino tynė ir, vadinasi, stiklo vamzdis su dujiška SO_2 ims pamaži ir nuosakiai vėsti, ir kaip tik tuo momentu, kada temperatūra nukris iki 155^0 toje vietoje, kur išnyko meniskas, pasi-

darys iš pradžios rūkas, kuris virs tikru tamsiu debesėliu. Visai auditorijai bus matoma audringa cirkulacija šitame debesėlyje, ir pagaliau, aprimus audrai, iš debesėlio išeis griežtas meniskas.

Tuo momentu, kada šildant skystą SO_2 išnyksta meniskas, mes turime dar sočių garų stovį, nes jų spaudimas visiškai nepareina nuo kiekių skystos ir garinės fazės, ir, be to, tam momentui atitinka tam tikra temperatūra, būtent, krizio temperatūra. Mes tada turime medžiagos krizio stovį. Įdomus dalykas, kad jeigu skystoje fazėje buvo, sakysime, ištirpintas jodas, tai jis pasilieka ištirpintame stovyje ir tada, kada skysta fazė išnyksta, nepaisant to, kad tas pats jodas netirpsta sieros dvideginio garuose.

Kadangi viršum krizio temperatūros išnykus meniskui mes turime jau perkaitintų garų stovį, tai garsus rusų chemikas Mendelejevas pavadino krizio temperatūrą paskutine, arba absolutine, medžiagos virimo temperatūra ta prasme, kad esant krizio temperatūrai mes turime stovį, visiškai panašų į sočių garų stovį, o virimo temperatūra mes kaip tik ir vadiname tokią temperatūrą, esant kuriai skystimo sočių garų spaudimas darosi lygus išoriniam spaudimui, arba, kitaip sakant, tą temperatūrą, esant kuriai skysta ir garinė fazės būna pusiausvyroj.



Pieš. 79.

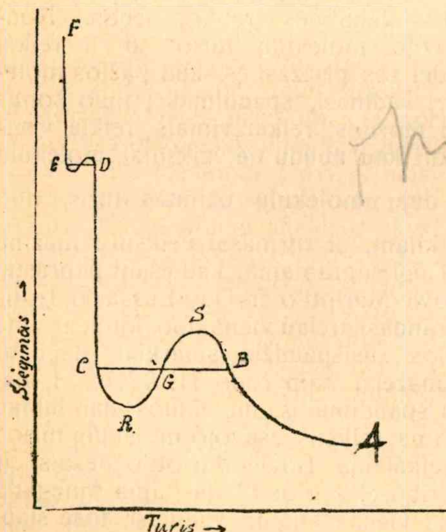
Pažvelkime dabar į visus augščiau aprašytus reiškinius Van der Waals'o teorijos atžvilgiu. „Skysčių ir Dujų" skyriuje, kalbėdami apie kinetinę dujų teoriją, mes jau matėme („Skysčiai ir Dujos", puslapis 100—101), kad Van der Waals'o lygtis $\left(p+\frac{a}{v^2}\right)(v-b)=\text{const.}=RT$. daug geriau ir tiksliau išreiškia empirinius davinius nagrinėjant santykius tarp tūrio, spaudimo ir temperatūros įvairioms dujoms, kaip Boyle-Mariott'o ir Gay-Lussac'o lygtis $pv=RT$. Priminsime čia tik, kad konstanta a reiškia tą spaudimą, kuris reikia pridėti prie eksperimentui nustatyto spaudimo del priežasties molekulinės traukos esant vieneto tūriui. Ta molekulinė trauka, anot Van der Waals'o, yra tiesioginai proporcinga kvadratui dujų koncentracijos, arba tankumui, kitaip sakant, atvirkščiai proporcinga užimto dujų tūrio kvadratui. Šita pataisa tada reikalinga, kada spaudimai darosi didesni kaip 2—3 atmosferos, vadinasi, kada atokumai tarp molekulų darosi mažesni ir ima veikti molekulinės traukos jėgos. Konstanta b, anot Van der Waals'o, yra funkcija „savojo molekulų tūrio" ir ji reikia atimti nuo viso dujų molekulų užimto tūrio, nes del tos priežasties, kad pačios molekulos užima dalį viso tūrio, susidūrimų skaičius ir, vadinasi, spaudimas į indo šonus didėja. Taigi suderinant eksperimento davinius su teorijos reikalavimais reikia visas dujų užimtas tūris sumažinti šituo dydžiu b. Aišku, kad abudu tie veiksniai, molekulų trauka, kurią mes išreiškiame dydžiu $\frac{a}{v^2}$ ir pačių dujų molekulų užimtas tūris, nuo kurio pareina dydis b, veikia priešingai vienas kitam, ir pirmasai veiksnis mažina spaudimą, o antrasai veiksnis didina spaudimą. Taigi suprantama, kad esant paprastai temperatūrai ir paprastiems spaudimams veikia Boyle-Mariott'o ir Gay-Lussac'o lygtis $pv=RT$. Esant didesniems spaudimams molekulos randasi arčiau viena nuo kitos ir ima reikštis molekulinės traukos įtaka spaudimui. Dujos susispaudžia smarkiau negu to reikalauja Boyle-Mariott'o dėsnis, ir sandauga pv mažėja, kaip rodo 71, 72 ir 73 piešinių Amagat'o diagramos. Esant dar didesniems spaudimams molekulos dar labiau prisiartina viena prie kitos ir vis labiau ir labiau ima reikštis „savojo molekulų tūrio" veikimas. Dujos susispaudžia mažiau negu to reikalauja Boyle-Mariott'o dėsnis, ir pv auga. Aišku, kad tam tikrose spaudimo ir tūrio ribose, kurios randasi apie Amagat'o kreivųjų minimumą, šitie du veiksniai kompensuoja vienas kitą ir, vadinasi, tose siaurose ribose visoms dujoms veikia lygtis $pv=RT$.

Kiekvienos dujos turi savo charakteringas konstantas a, b, ir R (konstanta R darosi visoms dujoms vienoda, jeigu apskaityti ją dujų gramomolekulai, žiūr. „Šilima" § 6). Norint surasti šitas konstantas galima pasielgti sekant Van der Waals'u, būtent, pasinaudojus Regnault'o arba Amagat'o daviniais, sustatyti Van der Waal'so lygtis trims atskiriems spaudimams, sakysime, p_1, p_2, p_3 ir atitinkantiems jiems tūriams v_1, v_2, v_3,

esant tai pačiai temperatūrai. Tad mes turėsime tris lygtis su trimis ieškomaisiais a, b ir R, iš kurių ir surasime Van der Waals'o konstantas. Iš lygties $\left(p+\frac{a}{v^2}\right)(v-b)=$ $=RT$ galima bus tada apskaityti sandauga pv ir sulyginti ją su eksperimento daviniais. Paėmę kaipo pavyzdį etileną C_2H_4, kurio izotermos yra labai panašios į anglies rūgšties izotermas, Amagat'o nustatytas ir atvaizduotas 73 piešiny, parodysime, kiek Van der Waals'o lygtis atitinka eksperimento daviniams. Etilenui $a=0{,}00786$ ir $b=0{,}0024$. Vadinasi, etilenui Van der Waals'o lygtis atrodo taip: $p+\left(\frac{0{,}00786}{v^2}\right)$ $(v-0{,}0024)=1.005441$ (čia vieton konstantos R paimtas dydis $p_0 v_0 \alpha$ — žiūr. „Šilimos" § 6). Eidami šita lygtimi apskaitysime sandaugą pv įvairiems spaudimams pradėdami 1 atmosfera ir tūrio vienetu ir sulyginsime šitą sandaugą su Amagat'o eksperimento rezultatais etilenui. Ši lentelė rodo apskaitymo ir eksperimento rezultatus:

p (spaudimas atmosferomis)	1000 pv (eksperimentu nustatyta)	1000 pv (iš Van der Waals'o lygties apskaityta)
1	1000	1000
45,8	781	782
84,2	399	392
110,5	454	446
176,0	643	642
282,2	941	940
398,7	1248	1254

Šita lentelė aiškiai rodo, kad apskaitymo ir eksperimento rezultatai gana gerai sutampa ir, vadinasi, Van der Waals'o lygtis pakankamai tiksliai išreiškia realinių dujų elgesį. Be to, iš šitos lentelės mes matome, kad sandauga pv iš pradžios mažėja, o paskui ima vėl augti pasiekus minimumą esant spaudimui apie 80 atmosferų. Vadinasi, šita lentelė pilnai patvirtina visa tai, kas buvo anksčiau pasakyta apie realinių dujų elgesį ir apie reikšmę molekulinės traukos (konstanta a) ir „savojo molekulų tūrio" (konstanta b—funkcija „savojo molekulų tūrio").



Pieš. 80.

Van der Waals'o lygtis $\left(p+\frac{a}{v^2}\right)(v-b)=$ $=RT$, kaip ir kiekviena lygtis, gali būti išreikšta tam tikra kreivąja linija. Paimsime bet kurias dujas, surasime augščiau nurodytu būdu toms dujoms konstantas a ir b ir, paėmę eilę spaudimų p_1, p_2, p_3 ir t. t., apskaitysime esant tai pačiai temperatūrai eilę atitinkančių tiems spaudimams tūrių v_1, v_2, v_3,... Atidėdami išilgai abscisos tūrius, o išilgai ordinatos atitinkančius tiems tūriams spaudimus, mes gausime savotišką kreivą liniją, kurią atvaizduoja 80 piešinys. Tai bus izotermos teorinė forma kietam, skystam ir gariniam stoviams.

Norėdami išaiškinti sau prasmę šitos kreivosios, parašysime Van der Waals'o lygtį tokiam atsitikimui, kada spaudimas p ir temperatūra T yra duoti, o tūrį v reikia surasti, vadinasi, kada tūris v bus ieškomasis. Tad mes turėsime:

$$pv^3 - (bp + RT)\, v^2 + av - ab = 0,$$

arba padalinę iš p

$$v^3 - (b + \frac{RT}{p})\, v^2 + \frac{a}{p}\, v - \frac{ab}{p} = 0.$$

Taigi mes čia turime trečio laipsnio lygtį tam v, ir kreivoji 80 piešinio yra trečiojo laipsnio kreivoji. Vadinasi, šita lygtis turi tris šaknis ir arba jos visos trys šaknys yra realios, arba tik viena šaknis yra realė, o dvi kitos menamos, kaip tai išeina iš trečiojo laipsnio lygčių nagrinėjimo. Taigi pakeisdami šitoje lygtyje p ir T duotais nuolatiniais dydžiais, mes surasime izotermos ABSRCDEF susikirtimo taškus su tiesiąja linija CB, lygiagrečiai abscisai atokumo p nuo abscisos; šis atokumas reiškia sočių garų spaudimą išilgai linijos CB, kur mes turime koegzistenciją skystos ir garų fazių. Susikirtimo taškai C, G ir B ir bus trys šaknys, trys skirtingi tūriai v, kurie patenkina mūsų lygtį. Aišku, kad visos tos tiesios linijos, lygiagrečios abscisai, kurios eina arba augščiau kaip taškas S arba žemiau kaip taškas R, perkirs mūsų izotermą tik viename taške, būtent: tos linijos, kurios eina augščiau taško S, perkirs mūsų izotermą riboj išimtinai skystos fazės, o tos, kurios eina žemiau taško R, — riboj išimtinai garų fazės. Vadinasi, šitais atvejais v turės tik vieną realią vertę ir dvi menamąsias (lygtis turės tik vieną realią šaknį ir dvi menamas).

Palygindami 77 ir 80 piešinius mes pastebėsime, kad šitie trys susikirtimo taškai B, G ir C artinasi vis labiau ir labiau vienas prie kito kįlant temperatūrai ir pagaliau susilieja viename taške G, kuris randasi ant krizio temperatūros izotermos ir kuris atitinka krizio spaudimui (77 pieš.). Vadinasi, esant šitai krizio temperatūrai ir krizio spaudimui, visi tie trys tūriai susilieja į vieną, ir mūsų lygtis patenkinama trimis lygiomis šaknimis, kitaip sakant, teturi tik vieną šaknį, kurią pažymėsime raide φ. Tai bus tūris esant krizio temperatūrai ir krizio spaudimui, kurį pavadinsime krizio tūriu ir kuris bus tas pats skystai ir garinei fazei, nes pasiekus krizio stovį nebėra skirtumo tarp skystos ir garinės fazės, ir slaptoji garavimo šilima darosi lygi nuliui (mažėjimas slaptosios garavimo šilimos aiškiai matosi iš 77 piešinio diagramos, kur gulsčioji izotermų dalis, kįlant temperatūrai, darosi vis trumpesnė ir trumpesnė ir virsta pagaliau tašku esant krizio temperatūrai).

Taigi krizio temperatūrai mes turėsime lygtį:

$$(v - \varphi)^3 = 0.$$

Išvystę šitą lygtį ir parašę po ja Van der Waals'o lygtį tūriui v kaipo ieškiniui, mes gausime:

$$v^3 - 3\, v^2 \varphi + 3\, v \varphi^2 - \varphi^3 = 0.$$

$$v^3 - (b + \frac{RT}{p})\, v^2 + \frac{a}{p}\, v - \frac{ab}{p} = 0,$$

iš kur išeina, kad

$$3\, \varphi = b + \frac{RT}{p} \quad \ldots\ldots (1)$$

$$3\, \varphi^2 = \frac{a}{p} \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

$$\varphi^3 = \frac{ab}{p} \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

iš (2) ir iš (3) išeina $\varphi = \left(\frac{a}{3p}\right)^{1/2} = \left(\frac{ab}{p}\right)^{1/3}$

Pakėlę 6 laipsniu gausime: $\left(\frac{a}{3p}\right)^3 = \left(\frac{ab}{p}\right)^2$, arba $\frac{a^3}{27\, p^3} = \frac{a^2\, b^2}{p^2}$,

iš kur išeina

$$p = \frac{a}{27\, b^2} \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

Kadangi mūsų lygtis išspręsta krizio temperatūrai, tai lygtis (4) duoda mums krizio spaudimo reikšmę, išreikštą Van der Waals'o konstantų a ir b pagalba.

Tų pačių konstantų pagalba mes galime išreikšti krizio tūrį, nes $3\,\varphi^2 = \frac{a}{p}$ (2), arba $3\,\varphi^2 = a : \frac{a}{27\, b^2} = 27\, b^2$, iš kur išeina $\varphi = 3b$.

Pagaliau išreikšime tų pačių konstantų pagalba ir krizio temperatūrą (absolutinę). Mes turime $3\varphi = b + \frac{RT}{p}$ (1), arba $9b = b + \frac{RT \cdot 27b^2}{a}$ (įvedant į (1) jau surastus reiškinius tiems φ ir p). Taigi $T = \frac{8b \times a}{27Rb^2} = \frac{8}{27} \cdot \frac{a}{Rb}$. Vadinasi, krizio temperatūrą $T_{kr.}$, krizio spaudimą $p_{kr.}$ ir krizio tūrį $v_{kr.}$ mes galime išreikšti Van derWaals'o konstantų pagalba, jeigu mes tas konstantas surasime jau augščiau norodytu būdu, ir atbulai, suradę eksperimento keliu krizio temperatūrą ir krizio spaudimą, mes galėsime apskaityti Van der Waals'o konstantas. Pavyzdžiui, iš Regnault'o ir Amagat'o eksperimentų Van der Waals'as apskaitė konstantas CO_2, butent, $a = 0{,}00874$ ir $b = 0{,}0023$. Kaip jau mes žinome konstanta $R = p_0 v_0 \alpha$ (jeigu tą konstantą paimti 1 gramui CO_2 esant pradžios spaudimui $p_0 = 1$ atmosferai). Vadinasi, R šitam atvejyje bus lygus $\frac{1.00646}{273}$. Šitų davinių pagalba mes galime apskaityti krizio CO_2 temperatūrą $T_{kr.}$, būtent: $T_{kr.} = \frac{8}{27} \cdot \frac{0{,}00874}{0{,}0023} : \frac{1.00646}{273} = 305{,}5^0$, skaitant nuo absolutinio nulio, arba $32{,}5^0$ skaitant nuo Celsijaus nulio.

Mes jau žinome, kad eksperimento keliu tam CO_2 surasta 31,5 kaipo krizio temperatūra. Vadinasi, Van der Waals'o teorija šiuo atveju pusėtinai atitinka tikrenybei.

Van der Waals'o lygčiai galima suteikti tokią formą, kad ją galima būtų taikinti ne tik dujoms, bet ir skysčiams, eliminavus iš tos lygties konstantas a, b ir R, kurios charakterizuoja tas ar kitas individualines dujas arba skysčius. Tai galima pasiekti išreiškiant dujų spaudimą p kaipo tam tikrą dalį krizio spaudimo $p_{kr.}$, dujų tūrį v kaipo dalį krizio tūrio $v_{kr.}$ ir dujų temperatūrą T kaipo dalį krizio temperatūros $T_{kr.}$ (čia visą laiką mes turime minty absolutinę temperatūrą). Taigi mes galime parašyti:

$$p = \alpha p_{kr.}$$
$$v = \beta v_{kr.}$$
$$T = \gamma T_{kr.}$$

α, β ir γ reiškia čia skaičius, kuriais išreiškiami santykiai tarp matuojamųjų dydžių ir krizio dydžių ir kuriuos galima pavadinti relatyviais (krizio dydžių atžvilgiu) spaudimu, tūriu ir temperatūra.

Pakeisime dabar lygtyje $(p + \frac{a}{v^2})(v - b) = RT$ dydžius p, v ir T jų reiškimais, išreikštais krizio dydžių pagalba. Tad mes turėsime $(\alpha p_{kr.} + \frac{a}{\beta^2 v_{kr.}^2})(\beta v_{kr.} - b) = R \gamma T_{kr.}$ Pagaliau pakeiskime $p_{kr.}$, $v_{kr.}$ ir $T_{kr.}$ jų vertėmis, išreikštomis konstantų a, b ir R pagalba (žiūr. aukščiau). Tad mes gausime $(\alpha \frac{a}{27b^2} + \frac{a}{9b^2\beta^2})(3\beta b - b) = \gamma R \frac{8a}{27Rb}$. Padalinę abi šitos lygties puses iš $\frac{a}{27b}$ gausime šią bendrą lygtį $(\alpha + \frac{3}{\beta^2})(3\beta - 1) = 8\gamma$, kuri visiškai nebepareina nuo individualinių dujų konstantų a, b ir R ir kurią galime pritaikinti ne tik dujiškam stoviui, bet ir skystam stoviui. Kai kuriems skysčiams šita lygtis patikrinta eksperimentu teigiama prasme, bet reikia pasakyti, kad tokių atsitikimų labai mažai, ir todel sunku būtų šiandien tvirtinti, kad Van der Waals'o lygtis galutinai išsprendžia dujiško ir skysto stovio problemą. Gavę progos pridursime, kad kai kurie tyrinėtojai, ir tame skaičiuje Van der Waals'as, manė, kad galima surasti prastesnius santykius ir daugiau taisyklingumo sulyginant tas ar kitas įvairių dujų ir skysčių savybes, vadinamuosiuose atitinkamuose (korespondujančiuose) stoviuose, kuriuos mes turėsime esant temperatūroms ir spaudimams, sudarantiems tą pačią trupmeną nuo krizio spaudimų ir temperatūrų. Kaip jau mes žinome, fizikoje priimta lyginti dujų įvairias savybes, kai esti normalinis atmosferos spaudimas ir 0^0 C temperatūra. Savaime aišku, kad šitie dydžiai yra pripuolami ir įsigalėjo fizikoje susitarimo keliu. Iš esmės nebūtų jokio skirtumo, jeigu dujų savybės būtų lyginamos esant bet kuriai kitai temperatūrai ir spaudimui. Taigi Van der Waals'as ir pasiūlė sulyginti dujų ir skysčių savybes atitinkamuose stoviuose, vadinasi, esant atitinkamoms temperatūroms ir spaudimams augščiau nurodyta prasme, manydamas,

kad tokiu būdu bus pasiektas didesnis taisyklingumas. Paaiškinsime šitą dalyką pavyzdžiu, paėmę sulyginti spiritą ir eterį. Spirito sočių garų spaudimas esant absolutinei temperatūrai 273° 12,5 mm. Kokia gi temperatūra reikia paimti eteriui, kad galima būtų sulyginti jo sočių garų spaudimas su spirito sočių garų spaudimu? Spirito krizio temperatūra (absolutinė) 516. Vadinasi, relatyvė temperatūra, arba atitinkanti temperatūra, kuriai sočių garų spaudimas yra 12,5 mm., bus $\frac{273}{516}$. Vadinasi, ir eteriui reikia paimti tokią pat relatyvę temperatūrą. Pažymėję absolutinę temperatūrą šiuo atveju eteriui raide x, mes turėsime: $\frac{x}{467} = \frac{273}{516}$. Čia 467 reiškia eterio krizio temperatūrą. Iš čia x = 247 (absolut.), arba —26°. Vadinasi, norint sulyginti reikia paimti eteriui temperatūrą —26° C. Esant šitai temperatūrai eterio sočių garų spaudimas bus 30,3 mm. Taigi santykis tarp eterio ir spirito sočių garų spaudimo esant atitinkančioms temperatūroms bus $\frac{30{,}3}{12{,}5} = 2{,}424$.

Pakelsime dabar spirito temperatūrą iki 333° (absolutinė) arba 60° C. Esant šitai temperatūrai spirito garų spaudimas bus 351 mm. Atitinkanti temperatūra bus $\frac{333}{516}$. Pažymėsime absolutinę eterio temperatūrą, kuri sudaro tokią pat trupmeną nuo jo krizio temperatūros, kaip augščiau paduota spiritui, raide x. Tad $\frac{x}{467} = \frac{333}{516}$, iš kur x = 301°,3 (absolut.) arba 28,3° C. Tai ir bus atitinkamoji eterio temperatūra, o jo sočių garų spaudimas esant šitai temperatūrai 728 mm. Vadinasi, santykis tarp eterio ir spirito sočių garų spaudimų šituo atveju bus $\frac{728}{351} = 2{,}075$ — gangreit toks pat kaip ir pirmuoju atveju, taip kad galima būtų pasakyti, kad santykis tarp sočių garų spaudimų, esant atitinkamoms temperatūroms, paimtoms dviems medžiagoms, yra pastovus dydis. Bet ir čia mes tikslių rezultatų neturime, ir kaip šiuo atveju, taip ir įvairiais kitais atvejais padarytos išvados turi tik apytikrės reikšmės. Be to, reikia pabrėžti, kad ir čia dirva dar labai mažai išnagrinėta, nes atlikta maža tyrimų Van der Waals'o nurodyta prasme ir, vadinasi, į Van der Waals'o lygtį tenka pakol kas žiūrėti kaipo į pirmą medžiagos izotermų apytikrę formą, nekalbant jau apie tai, kad Van der Waals'o lygtis nieko mums nesako apie kietą stovį. Bet visgi šita lygtis sudaro labai svarbią dalį molekulinės materijos teorijos ir duoda aiškų supratimą apie tolydinius perėjimus iš skystos fazės į dujišką ir atbulai, neišskiriant ir tokių stovių, kurie nėra pastovūs. Taip kreivoji 80 piešinio, kuri tarp kita ko vadinasi sinusoidinė kreivoji, atvaizduoja mums ir pastovią ir nepastovią pusiausvyrą skystos ir dujiškos fazių. Dalis kreivosios AB išreiškia mums perkaitintų garų arba dujišką medžiagos stovį. Dalis BC — koegzistenciją skystos ir sočių garų fazės. Pagaliau dalis CD priklauso skystai fazei. O dalis BS, kuri sudaro tolydinę, be pertraukos, tęsinį perkaitintų garų kreivosios AB, yra ne kas kita, kaip persotintų garų kreivoji. Vadinasi, čia mes turime medžiagą nepastovios pusiausvyros sąlygose, į kurią mes galime pereiti tolydžio nuo perkaitintų garų stovio. Taip pat dalis RC išreiškia peršaldyto skysčio stovį, vadinasi, irgi medžiaga nepastovios pusiausvyros sąlygose, į kurią galima pereiti tolydžio išeinant iš skysčio pastovios pusiausvyros sąlygose. Visos šitos kreivosios dalys realizuojamos eksperimentu. Bet mūsų kreivoji, atvaizduojanti Van der Waals'o lygtį, turi dar dalį SGR, kur mažėjant tūriui mažėja ir spaudimas, ir kurios realizuoti eksperimento keliu nepasisekė. Toksai medžiagos elgesys prieštarauja visam tam, kas mums žinoma apie elgesį kietų, skystų ir dujiškų kūnų. Galimas daiktas, kad panašus stovis galima realizuoti skystimo paviršiuje, kurį charakterizuoja, kaip jau mes žinome, ypatingas stovis. Bet visgi ir čia medžiagos stovis, išreikštas kreivosios dalimi RGS, bus ypatingai nepastovus ir sunkiau realizuojamas kaip persotintų garų arba peršaldytų skysčių stovis. Pastangos šitam nepastoviam būviui realizuoti pastaraisiais laikais daromos.

Termodinamika, arba mechaninė šilimos teorija.

18 §. Spekulacijos apie šilimos esmę. Substancinė šilimos koncepcija. Rumfordo ir Davy'o tyrinėjimai. J. R. Mayer'io pažiūros. J. P. Joule'io eksperimentai. Mechaninis šilimos ekvivalentas.

Iki XVIII šimtmečio pabaigos į šilimą buvo žiūrima kaipo į elastingą medžiagą, panašią į skystį, kurios atžvilgiu fiziniai kūnai reiškia didesnį arba mažesnį pritraukimą. Tuo buvo aiškinama didesnis arba mažesnis fizinių kūnų šilimos talpumas. Šita medžiaga buvo pavadinta kalorikas. Didėjant jos kiekiui fiziniame kūne, kūno temperatūra kilo, mažėjant jos kiekiui, temperatūra krito. Perėjimas šilimos nuo kūno augštesnės temperatūros į kūną žemesnės temperatūros, esant tarp tų dviejų kūnų kontaktui, buvo aiškinamas tuo, kad tarp atskirų kaloriko dalių veikia atsparos jėgos. Taigi kalorikas teka nuo vietų, kur temperatūra augštesnė ir kur tos atsparos jėgos didesnės, į vietas, kur temperatūra žemesnė ir kur tos atsparos jėgos silpnesnės, pakol nusistoja pusiausvyra. Tokia šilimos koncepcija galima buvo išaiškinti žinomus mums jau kalorimetrijos reiškinius. Taip pat fizinių kūnų turio kitėjimai buvo aiškinami, kaipo išdava susijungimo fizinių kūnų su kaloriku — tūrio didėjimas kįlant temperatūrai ir atsiskyrimui kaloriko nuo fizinio kūno — tūrio mažėjimas temperatūrai puolant.

Pagaliau buvo manoma, kad kaloriko kiekis gamtoje yra apribotas dydis ir kad tas kiekis, lygiai kaip judėjimo momentas susidūrus dviem kūnam arba persiskiriant jiems, nesimaino pereinant kalorikui iš vieno kūno į kitą kūną: kiek kaloriko nustoja vienas kūnas, tiek jo įgyja kitas.

Taigi į šilimą buvo žiūrima kaipo į substanciją, kaipo į savo rūšies medžiagą be svorio, ir tą pažiūrą, kaip jau mes matėme Kalorimetrijos skyriuje, palaikė ir kalorimetrijos kūrėjas Black'as, kurio nuomone sandaugai iš kūno masės ir temperatūros (kūno šilimos talpumui) reikia pripažinti tokią reikšmę, kaip ir sandaugai iš masės ir greitumo (judėjimo momentas). Šita substancinė šilimos hipoteza išsilaikė net iki XIX šimtmečio pradžios. Bet jau pas graikų filosofus galima susidurti su nuomone, kad šilima yra ne kas kita, kaip mažų kūno dalelių (atomų) judėjimas. Garsus Anglų filosofas iš antros pusės XVI ir pradžios XVII šimtmečio Francis Bacon'as, vienas iš pirmatakų šių dienų gamtos mokslo ir gamtos filosofijos, padaręs apžvalgą įvairių procesų, kuriuose dalyvauja šilima, prieina prie išvados, kad šilima visuomet yra surišta su judėjimu.

Nuo seniausių laikų visi žmonės labai gerai žino, kad trinant du kūnus vienas į kitą atsiranda šilima. Nuo seniausių laikų žmonės tokiu būdu gaudavo ugnį, ir net šiandien dar laukiniai žmonės įbedę į duobelę ant storos lentos apskritą medžio virpstį ir greitai jį sukdami šniūro pagalba gauna ugnį. Taigi atskiras pastangas surišti šilimą su mechanišku judėjimu galima pastebėti nuo pat tų laikų, kada gimė moksliška mintis. Bet ypatingai ryškiai tos pastangos apsireiškia XVIII šimtmečio pabaigoj ir XIX šimtmečio pradžioj. Anglas Grovas Rumfordas, garsus Karališkos Mokslo Draugijos narys, 1798 metais kaipo Miuncheno arsenalo direktorius, pastebėjo, kad gręžiant patrankas drožlės įgyja tokią augštą temperatūrą, jog jų negalima paliesti ranka. Pastebėjęs tai, jis padarė tokį eksperimentą. Jis paėmė plieno cilindrą 5 tonų svorio ir prispaudė prie to cilindrio galo buką grąžtą. Plieno cilindras buvo taip pastatytas, kad jį galima buvo sukti arklio pagalba. Grąžtas buvo nejudomai pastatytas. Į duobelę ant cilindro galo netoli nuo grąžto buvo įdėtas jautrus termometras. Apsukęs arklio jėgos pagalba šitą cilindrą 960 sykių Rumfordas pastebėjo, kad gręžiamo patrankos galo temperatūra pakilo 39° C. Rumfordas surinko ir atsvėrė smulkias drožles ir dulkes, nutrintas buku grąžto galu. Tokių dulkių jis surinko apie 55 gramus. Lengva apskaityti, kad čia trynimu susidarė toks kiekis šilimos, kurio pagalba galima buvo sutirpinti gangreit 3 kilogramai ledo. Einant kaloriko hipoteza šitas didelis šilimos kiekis buvo išspaustas trinant grąžtu plieno cilindrą neva todel, kad drožlių lyginamoji šilima, arba šilimos talpumas, yra mažesnė kaip masingo plieno cilindro. Taigi Rum-

fordas visų pirma tiesioginiu eksperimentu įsitikino, kad plieno lyginamoji šilima kompaktiško gabalo pavidalu ir smulkių drožlių pavidalu yra ta pati. Toliau iš šito savo eksperimento Rumfordas padarė išvadą, kad trynimu galima pagaminti neapibrėžtą šilimos kiekį ir, vadinasi, kad negali būti kalbos apie tai, kad kaloriko kiekis gamtoje yra apibrėžtas. Taigi Rumfordas savo eksperimentu, galima sakyti, išmušė pamatą substancinei šilimos hipotezai, nes toksai dalykas, kurį galima dauginti ir mažinti be ribos, jokiu būdu negali būti substancija. Tiktai judėjimas, anot Rumfordo, nėra apribotas kiekio atžvilgiu, ir todel kalbant apie šilimos prigimtį reikia ieškoti šilimos šaltinių judėjimuose.

Kitas garsus anglas Humphry Davy's, vienas iš didžiausių anų laikų chemikų, 1799 metais atliko tokį eksperimentą. Esant dideliam šalčiui jis paėmė du gabalus ledo, pririšo juos vielomis prie dviejų stiebų ir tam tikro prietaiso pagalba trynė juos vienas į kitą. Tuo trynimu abudu ledo gabalai buvo sutirpinti, o susidaręs vanduo rodė augštesnę temperatūrą kaip 0^0 net šaltyje. Norėdamas pašalinti visokias abejones kai del reikšmės šito eksperimento Davy's atkartoja jį, patalpinęs du ledo gabalus tuštumoje ir trindamas juos vieną į kitą tam tikro mechaniško prietaiso pagalba. Efektas buvo dar aiškesnis. Ledas sutirpo ir vandens temperatūra buvo augštesnė negu 0^0. Apie išspaudimą kaloriko iš ledo negalėjo būti jokios kalbos, nes visiems buvo žinoma, kad ledo šilimos talpumas yra žymiai mažesnis kaip skysto vandens šilimos talpumas. Taigi Davy'o eksperimentas dar sykį aiškiai parodė, kad mechanišku veikimu galima gauti šilima.

Buvo žinomi ir kiti mechaniški procesai, surišti su šilimos apsireiškimu. Taip, spaudžiant staiga dujas pasiliuosuoja šilima ir dujų temperatūra pasikelia. Garsus anglų chemikas Daltonas XIX šimtmečio pradžioje išmatavo temperatūros pakilimą spaudžiant staiga orą ir konstatavo, kad oro temperatūra pasikelia 28^0 C suspaudus jį per pusę, ir kad taip pat pakįla temperatūra ir kitų dujų, taip kad pasiliuosuojąs čia šilimos kiekis pareina tik nuo spaudimo didumo ir visiškai nepareina nuo dujų prigimties.

Į trynimą mes žiūrime kaipo į jėgą, kuri stabdo judėjimą, vadinasi, kaipo į jėgą, kuri visuomet atkreipta prieš tą jėgą, kuri sudaro judėjimą. Taigi stumiant, arba sukant, kokį nors kūną su trynimu, atliekamas tam tikras darbas prieš trynimo jėgą, kuris yra lygus tai trynimo jėgai padauginus iš jėgos pridėjimo taško atliktą kelią. Taigi savaime ateina mintis, kad šilima, kuri susidaro per trynimą, yra mechaniško darbo išdava. O tačiau šita mintis, nepaisant Rumfordo eksperimento, kurį jis dar atkartojo patalpinęs savo plieno cilindrą į vandenį ir užvirinęs didelį vandens kiekį, ir nepaisant Davy'o eksperimento, pirmą sykį buvo aiškiai pasakyta 1842 metais. Žmogus, kuris pirmutinis išreiškė šitą mintį, kad mechanišku darbu galima gauti šilima, ir atbulai, eikvojant šilimą galima gauti mechanišką darbą, buvo Heilbronno miesto, Švabuose, gydytojas Julijus Robertas Mayer'is. Jis labai domėjosi fizika ir chemija ir buvo gerai susipažinęs su tais dalykais. 1841 metais jis užėmė gydytojo vietą Olandų garlaivy ir buvo nuvykęs į Javą. Kadangi jam ten teko leidinėti kraujas gydant vietinius gyventojus, tai jis pastebėjo, kad tarp jų arterijų ir venų kraujo spalvos atžvilgiu nėra tokio griežto skirtumo, kaip tarp arterijų ir venų kraujo šaltesnių kraštų gyventojų. Taip mūsų venų kraujas yra žymiai tamsesnis kaip arterijų kraujas, tuomet kaip karštų kraštų gyventojų venų kraujas mažai kuo tesiskiria nuo arterijų kraujo. Iš čia Mayer'is padarė išvadą, kad karštuose kraštuose mažiau reikalinga organizmui kuro, pavidalu maisto, normalinei kūno temperatūrai palaikyti, kaip šaltuose kraštuose, ir todel karštų kraštų gyventojų venų kraujyje randasi mažiau degimo ir aplamai skilimų produktų, ir todel tas kraujas yra šviesesnės spalvos. Mąstydamas apie šitą dalyką toliau, dar būdamas Javoje, Mayer'is giliai įsitikino, kad tarp mechaniško darbo ir šilimos veikia ekvivalentingumo santykiai, kad atliktų tam tikrą darbą galima pagamint tam tikras kiekis šilimos, ir atbulai. Šitą mintį jis paskelbė sugrįžęs į Europą veikale: „Apie negyvos gamtos jėgas" („Ueber die Kräfte der unbelebten Natur"). Kada jam buvo padarytas užmetimas, kad šitame savo darbe jis nenurodo būdo, kuriuo galima būtų kiekybiškai nustatyti santykis tarp šilimos ir mechaniško darbo, tai atskirame straipsnyje jis aiškiai nurodė šitą būdą, nors ir neturėjo galimumo atlikti tam tikrą

eksperimentą Mes jau 11 § matėme, kad dujų lyginamoji šilima pareina nuo to, ar ji matuojama esant nuolatiniam spaudimui, ar esant nuolatiniam tūriui. Mes jau žinome, kad, sakysime, oro lyginamoji šilima esant nuolatiniam spaudimui yra didesnė kaip esant nuolatiniam tūriui, ir šitą skirtumą mes jau įnešėme sąskaiton mechaniško darbo, kurį atlieka oras prieš atmosferą, kįlant jo temperatūrai, nes oras skečiasi nesimainant išoriniam spaudimui. Taigi Mayer'is ir nurodė į eksperimentą su oru, kurio pagalba galima apskaityti vadinamosios, mechaninės šilimos ekvivalentas, arba toks kiekis darbo, kuris duoda šilimos vienetą. Aprašysime čia Mayer'io teoretinį eksperimentą. Įsivaizduokime sau indą kubo pavidalo ir tegu to kubo briauna bus 1 metr. Toliau tegu to kubo viršutinė plokštis gali judėti panašiai kaip stumeklis ir tegu ta plokštis bus be svorio. Pagaliau tegu kubas yra 0^0 C temperatūros. Taigi mes čia turime 1 kub. metrą oro 0^0 temperatūros ir, sakysime, esant normaliniam atmosferos spaudimui 760 m/m. gyvojo sidabro stulpo. Šis spaudimas, kaip jau mes žinome, yra lygus 1033,6 gramų į 1 kvadratinį centimetrą, arba $1033{,}6 \times 981$ dinų į 1 $cm.^2$. Tad oras tame kube sveria 1,293 kilogramų. Įdėsime dabar mūsų kubą į labai didelį rezervuarą su vandeniu 1^0C temperatūros. Oro temperatūra pakils 1^0, ir oras įgys c_p. 1,293 didžiųjų kalorijų. Čia c_p, kaip mes žinome, reiškia oro lyginamąją šilimą esant nuolatiniam spaudimui. Kįlant temperatūrai, oras skėsis ir, vadinasi, varys augštyn judamąją kubo viršutinę plokštį. Einant Gay-Lussac'o dėsniu, oro tūris padidės $^1/_{273}$ dalimi pirmykščio tūrio (1 $mtr.^3$). Kadangi kubo skerskrodžio plotas yra 1 $mtr.^2$, tai viršutinė plokštis skečiantis orui bus pakelta augštyn $^1/_{273}$ dalimi metro. Bet keliant šitą plokštį augštyn, oras atliks darbą, nes kiekvieną kv. cm. plokšties veikia svoris 1,0336 kilogramo, o kadangi kubo plokšties plotas yra 10.000 $cm.^2$, tai visą plokštį veikia jėga 10.336 kilogramų. Taigi orui skečiantis atliktas darbas bus $\frac{10336}{273}$ kilogramo metrų. Vadinasi, suteikę orui augščiau nurodytomis sąlygomis c_p. 1,293 didžiųjų kalorijų, mes pakelsime jo temperatūrą 1^0 ir atliksime dar nurodytą čia darbą. Patalpinsime dabar šitą kubą, atvėsinę jį iki 0^0, vėl į tą patį rezervuarą su vandeniu 1^0 temperatūra ir tam tikru priediniu spaudimu į viršutinę kubo plokštį neleisime orui skėstis, vadinasi, eleminuosime darbą prieš atmosferą. Oro temperatūra vėl pakils 1^0, bet dabar oras įgys mažiau šilimos, būtent, įgys c_v. 1,293 didžiųjų kalorijų. Čia, kaip jau mes žinome, c_v, yra oro lyginamoji šilima esant nuolatiniam tūriui, kuri yra mažesnė kaip c_p. Taigi skirtumas įgytų oru šilimų vienu ir kitu atveju 1,293 $(c_p - c_v)$ ir bus išeikvotas darbui $\frac{10336}{273}$ kilogramometrų atlikti. Pavadinsime mechaniniu šilimos ekvivalentu kilogramometrų skaičių, kuris padaro vieną didžiąją kaloriją, ir pažymėsime šitą dydį raidė J, tad mes turime lygtį:

$$J.\,(C_p - C_v)\,.\,1{,}293 = \frac{10336}{273}.$$

$$\text{Iš čia } J = \frac{10336}{273.\ 1{,}293\ (C_p - C_v)}$$

$$\text{Orui } c_p = 0{,}2375$$

$$c_v = 0{,}169.$$

Vadinasi, $c_p - c_v = 0{,}0685$. Įvedę vieton $c_p - c_v$ į lygtį dydžiui J šitą reikšmę mes gausime:

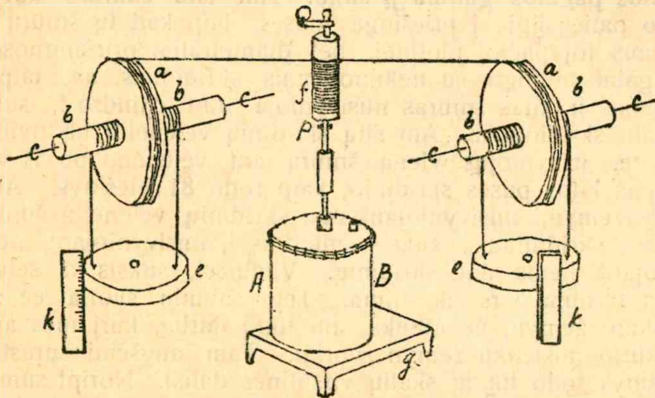
$$J = \frac{10336}{273.\ 1{,}293.\ 0{,}0685} = 427 \text{ kilogramometrai.}$$

Vadinasi, 427 kilogramometrų darbo sukuria 1 didžiąją kaloriją šilimos, ir atbulai — iš vienos didžiosios kalorijos šilimos galima gauti 427 kilogramometrų darbo. Tai ir bus mechaninis šilimos ekvivalentas.

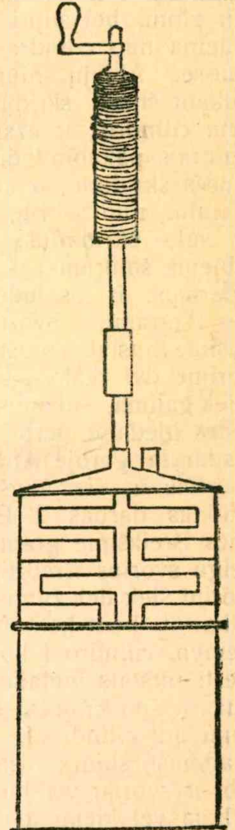
Tačiau reikia čia pasakyti, kad Mayer'is gavo augščiau nurodytu būdu mažesnį skaičių, būtent, tik 365, bet Mayer'io laikais lyginamosios dujų šilimos nebuvo dar

pakankamai ištirtos ir todel Mayer'is neturėjo tikrų davinių. Bet jo nurodytas metodas mechaniniam šilimos ekvivalentui surasti yra geras ir tikslus metodas ir duoda gerą rezultatą.

Bet paminėti čia Roberto Mayer'io darbai nepadarė reikiamos įtakos anų laikų fizikams ir šiaipjau mokslininkams. Reikia pripažinti, kad Mayer'io teorijos silpna pusė buvo stoka aiškaus eksperimentinio pagrindo. Duoti reikiamą eksperimentinį pagrindą mechaninei šilimos teorijai buvo lemta kitiems ir pirmiausia anglui James Prescott Joule'iui (skaityk Džoul), kurio klasiškiems eksperimentams šitoje srityje reikia pripažinti didžiausios reikšmės. Joule'is buvo medžiagiškai visiškai aprūpintas žmogus. Jis buvo didelio alaus bravaro savininkas, bet visą savo atliekamą laiką ir žymią dalį savo lėšų skyrė moksliškiems tyrinėjimams šilimos srityje. Jis lygiai kaip ir jo tėvynainis Henry Cavendish'as, kurio darbai paminėti „Mechanikos skyriuje“, sąryšy su Newton'o visuotinos traukos teorija, užima labai augštą vietą mokslininkų eksperimentatorių tarpe. Taigi dar 1841 metais Joule'is davė sau uždavinį tiesioginiu eksperimentu surasti šilimos kiekį, kurį sukuria tam tikras kiekis mechaniško darbo. Jis atliko eilę eksperimentų šita prasme ir paskelbė tų eksperimentų vaisius 1842 met. Aprašysime čia tik vieną iš tų eksperimentų, kuris laikomas klasišku. 81 ir 82 piešiniai atvaizduoja aparatą, kuriuo naudojosi Joule'is. Mes čia turime pirmiausia varinį kalorimetrą AB, gerai izoliuotą iš oro ir pastatytą ant stalo g. Vidujinę to kalorimetro konstrukciją rodo 82 piešinys. Pro skylę pačiam vidury kalorimetro dangčio į kalorimetrą įkišta šeiva, cilindrinio stiebo pavidalu, kurios apatinis aštrus galas remiasi duobelėje ant kalorimetro dugno. Ta šeiva turi aštuonias eiles radialinių metalinių sparnų (82 piešinys rodo tik 2 eiles tokių sparnų), kurie sukant šeivą slenka atitinkamuose tarpuose, išpjautuose storose kalorimetro sienose (arba tarpuose tam tikrų metalinių sienelių, kuriomis kalorimetras, teisskyrus tik jo centralinę dalį, padalintas į tiek kamerų, kiek yra sparnų eilių). Kalorimetras pripiltas vandens. Sukdami šeivą mes atliksime tam tikrą darbą prieš trynimo jėgas, būtent, prieš vandens sluogsnių trynimą vienas į kitą, lygiai kaip ir prieš trynimą tarp vandens ir kalorimetro sienų ir šeivos sparnų. Šitas atliktas darbas virsta šilima, kurios kiekį mes galėsime apskaityti išmatavę vandens pradžios ir galutiną temperatūras, jeigu mes žinome vandens masę M ir kalorimetro vandeninį ekvivalentą W. Bet jeigu sukdami šeivą su sparnais mes suteiksime judėjimą vandens masei, tai tik dalis atlikto darbo virs šilima, o kita dalis apsireikš vandens masių kinetinės energijos pavidalu. Taigi Joule'is ir suteikė savo kalorimetrui konstrukciją,



Pieš. 81.


Pieš. 82.

nurodytą 82 piešiny, kad sukant šeivą-ašį sujudintų kuo mažiau vandenį, vadinasi, kuo mažiau iš atlikto darbo paverstų kinetine energija. Aišku, kad šitam kalorimetre vanduo, sujudintas šeivos sparnais, tuojau sustoja susidavęs į kalorimetro kamerų sienas siauruose tarpuose tarp tų kamerų sienų ir šeivos sparnų. Taigi suteiktas judėjimo momentas vandeniui čia tuojau naikinamas trynimo jėgomis, ir mes čia atliekame darbą prieš trynimo jėgas. Greta su skyle kalorimetro dangčio vidury (81 ir 82 pieš.) randasi kita skylė, pro kurią į kalorimetrą įleidžiamas galas jautraus termometro, kurio pagalba nustatoma kalorimetro pradžios ir galutine temperatūros. Ant viršutinio šeivos galo užsuktas trumpas medinis cilindras, tuščias vidury. Į šitą cilindrą iš viršaus galima įsukti cilindro f koja, o reikalui esant galima cilindrą f išimti iš medinio cilindro. Cilindras f turi rankeną, kurios pagalba galima jį sukti. Ant šito cilindro užvynioti du ploni, bet stipri šniūrai to paties ilgio į priešingas puses, taip kad tų šniūrų galai nueina nuo cilindro f paviršiaus toj pačioj plotmėj, bet diametraliai priešinguose taškuose. Abiejų šniūrų laisvi galai sujungti su nekilnojamais skridiniais aa, taip kad sukant šituos skridinius ir vienas ir kitas šniūras nusivynioja nuo cilindro f, sukantis tam cilindrui, ir užsivynioja ant skridinių aa. Ant šitų skridinių velenėlių bb dvilinkais šniūrais pakabinti du svoriai ee, užvyniojus vieną šniūrą ant velenėlio bb iš vienos pusės skridinio, o kitą šniūrą iš kitos pusės skridinio, kaip rodo 81 piešinys. Atėmus paramą nuo svorių, jie slinks žemyn, nusivyniojant nuo skridinių velenėlių šniūrams, ir suks skridinius. O sukantis skridiniams, suksis cilindras f, nusivyniojant nuo jo abiems šniūrams ir užsivyniojant jiems ant skridinių. Vadinasi, suksis ir šeiva su sparnais, ir jos judėjimas per trynimą virs čia šilima. Tegu abudu svoriai ee sveria po P gramų. Svoriams slenkant žemyn, jie atlieka tam tikrą darbą, kurį mes apskaitysime nustatę augštį, nuo kurio nuslenka žemyn svoriai. Tam augščiui surasti mes turime dvi skales kk (81 piešinys rodo tik tų skalių viršutines dalis). Norint sumažinti kiek galima, sukantis skridiniams, jų ašių trynimąsi į apikakles, abudu galai kiekvienos ašies įdedami tarp dviejų lengvų ratukų, kurie sukasi į priešingas puses, kaip tai padaryta geroje Atwood'o mašinoje. Paleidus svorius ee, jie nuslinks žemyn nuo augščio h, šis augštis bus lygus šniūrų ilgiui, ant kurių jie kybo. Vadinasi, bus atliktas darbas 2 Ph (nes mes turime du svorius) gramocentimetrų, jeigu svorius mes išreikšime gramais, o augštį matuosime centimetrais, arba 2 Ph kilogramometrų, jeigu svorius išreikšime kilogramais, o augštį metrais. Bet šitas darbas bus permažas, norint šiek tiek žymiai pakelti vandens temperatūrą kalorimetre. Taigi šitas darbas reikia atkartoti bent keliasdešimt sykių, sakysime, n sykių. Taigi nuslinkus svoriams vieną sykį žemyn, cilindro f koja išimama iš medinės muftos (mufta cilindre medinė, kad nereiktų liesti pirštais metalinių dalių ir tokiu būdu suteikti kalorimetrui šilimos nuo rankos) ir sukant šito cilindro f rankeną abudu jo šniūrai nuvyniojami nuo skridinių aa, užvyniojami ant cilindro f, sukantis skridiniams į priešingas puses ir kįlant svoriams augštyn. Vadinasi, šniūrai, ant kurių kybo svoriai ee, vėl bus užvynioti ant skridinių velenėlių bb, ir svoriai vėl bus pakelti augštyn ir nusistos ties skalės nuliu. Atlikus tai, cilindro f koja vėl kietai įdedama į medinį cilindrą, svoriai vėl paleidžiami ir vėl atliekamas darbas 2 Ph. Taigi atlikus šitą procedūrą n sykių, svoriai atliks 2 n Ph darbo. Bet ne visas tas darbas virs čia šilima. Nuslinkus žemyn nuo augščio h masės ee turės tam tikrą greitumą v ir, vadinasi, bus įgiję tam tikrą kinetinę energiją, būtent, $\frac{1}{2}\frac{P}{g}v^2$ (nes masė yra lygi $\frac{P}{g}$). Taigi iš viso atlikto darbo reikia atimti šita kinetinė energija. Vadinasi, reikia surasti greitumas v, kurį įsivaro svoriai nuslinkę žemyn. Šitas greitumas buvo nustatytas Joule'io atskiru eksperimentu prieš darant kalorimetrinį eksperimentą, arba pabaigus jį, paliekant visas tas sąlygas, kuriomis buvo varomas kalorimetrinis eksperimentas, naudojantis skalėmis kk ir matuojant laiką chronometru. Kadangi $V = \sqrt{2gh_1}$, tai suradus greitumą v galima buvo apskaityti tas augštis h_1, nuo kurio nupuolę svoriai įsivaro greitumą v, laisvai krisdami. Vadinasi, abiejų svorių kinetinę energiją galima dabar išreikšti kaipo $2Ph_1$ vienam puolimui ir kaipo $2nPh_1$ n puolimams. Taigi neišeikvotas kinetinei energijai sudaryti darbas bus $2nPh - 2nPh_1 = 2nP(h-h_1)$. Bet ir šitas darbas ne visas eina šilimai sudaryti. Visgi skridinių

ašys cc apikaklėse sukasi su šiokiu tokiu trynimu, ir darbas, išeikvotas tam trynimui nugalėti, neapsireiškia kalorimetre šilimos pavidalu. Pažymėsime šitą darbą A. Jam surasti Joule'is atliko irgi atskirą eksperimentą (prieš kalorimetrinį eksperimentą, arba po kalorimetrinio eksperimento), atjungęs abudu skridinius su cilindru f nuo kalorimetro šeivos ir paleidęs abudu svorius taip, kad vienas slinktų žemyn, o kitas augštyn, vadinasi, kad vienas svoris keltų kitą svorį, uždėdamas ant vieno iš tų svorių tokį papildomąjį pasvarėlį, kad judėjimas eitų tokiu greitumu, kaip darant eksperimentą su kalorimetru. Tokiu būdu Joule'is surado tą priedinę jėgą, kuri čia reikalinga trynimui kompensuoti, ir galėjo apskaityti skridinių ašių cc trynimo darbą A. Vadinasi, ir šitas darbas A reikia atimti iš darbo $2nP(h-h_1)$. Bet tai dar ne visos pataisos. Krintant svoriams žemyn, šniūrai, ant kurių jie kybo, visą laiką ištempti. Sustojus svoriams mes turime reikalo su šniūrų reakcija: jie susitraukia, dalis jų užsivynioja del priežasties inercijos ant skridinių velenėlių ir, vadinasi, dar truputį suka skridinius ir sujungtus su jais cilindrą f ir kalorimetro šeivą su sparnais, atlikdami nedidelį papildomąjį darbą. Ir šitas papildomasis darbas buvo apskaitytas iš atskiro eksperimento davinių, kuriuo buvo nustatyta, kiek pasikelia augštyn svoriai, susitraukiant šniūrams. Pažymėsime šitą papildomąji darbą raide A_2.

Pagaliau, kad pabrėžtum su kokia precizija dirbo Joule'is, pridursime dar, kad einant visiems augščiau aprašytiems judėjimams kalorimetras ūžia, vadinasi, dalis atlikto darbo eikvojama garso bangoms sudaryti ir todel neapsireiškia kalorimetre šilimos pavidalu. Šita nors ir labai maža pataisa, kurią irgi reikia atimti iš viso atlikto darbo, buvo irgi Joule'io apskaityta. Bet tai jau mažmožis.

Pažymėsime dabar visą tą darbą, kuris eina trynimui nugalėti kalorimetre ir, vadinasi, kuris virsta šilima, raide A. Tad mes turėsime:

$$A = 2\,nP(h - h_1) - A_1 + A_2$$

(be pataisos kalorimetro ūžimui). Tegu kalorimetro pradžios temperatūra buvo t_0^0 C, galutinė temperatūra t (šitos abidvi temperatūros turi būti pataisytos radiacijos taip, kaip tai smulkiai aprašyta Kalorimetrijos skyriuje). Tad įgytas kalorimetro šilimos kiekis bus: $Q = (M + W)(t - t_0)$.

Taigi mechaninis šilimos ekvivalentas:

$$I = \frac{A}{Q} = \frac{2\,nP(h - h_1) - A_1 + A_2}{(M + W)(t - t_0)}$$

Aprašytas čia Joule'io eksperimentas buvo atkartotas daug sykių įvairiais variantais. Duosime čia davinius vieno iš tokių variantų. Abidvi krintančios masės buvo lygios 26,32 kilogramo $= 2P$. Pataisytas kritimo augštis, vadinasi, $h - h_1 = 160{,}5$ centimetrų. Kritimas masių buvo atkartotas 20 sykių. Vandens masė ir vandeninis ekvivalentas kalorimetro $M+W$ buvo lygus 6316 gramų. Konstatuotas temperatūros pakilimas 0,3129°C. (Paduoti čia daviniai gauti išverčiant anglų sistemos vienetus, kuriuos vartojo Joule'is, metrinės sistemos vienetais.) Iš šitų davinių išeina, kad atliktas. darbas yra lygus $20\times160,\ 5\times26,\ 32\times1000\times981 = 8{,}287{,}10^{10}$ ergų. O sukurtas šilimos kiekis yra lygus $6316\times0{,}3129 = 1977$ kalorijų (mažųjų). Iš čia mes gauname mechaniniam šilimos ekvivalentui $I = \frac{8{,}287.10^{10}}{1{,}977} = 4{,}19.10^{10}$ ergų, arba 427 kilogramometrus vienai didžiajai kalorijai.

Norėdamas gauti didesnį temperatūros pakilimą kalorimetre, Joule'is pavartojo dar spižo kalorimetrą su gyvuoju sidabru, kurio lyginamoji šilima yra žymiai mažesnė kaip vandens. Konstrukcija šito gyvojo sidabro kalorimetro šiaipjau buvo visiškai panaši į anksčiau aprašytą vandens kalorimetro konstrukciją. Atsiektas temperatūros pakilimas buvo 1,33° C, ir šituo kalorimetru nustatytas mechaninis šilimos ekvivalentas 426 kilogramometrai, skaitant vienai didžiajai kalorijai. Pagaliau šilimos trynimu gavimui ištirti Joule'io buvo dar padarytas eksperimentas, trinant kalorimetre du spižo skritulius vieną į kitą, ir buvo surasta, kad 425 kilogramometrai darbo duoda 1 didžiąją kalorija.

Bet Joule'is, suprasdamas, kad šita konstanta turi universalinės reikšmės, ir norėdamas įrodyti jos universalumą, nepasitenkino vien trynimo eksperimentais ir atliko eilę eksperimentų su šilima iš kitų šaltinių. Pažymėsime tik čia jo eksperimentą su ta šilima, kuri apsireiškia einant elektros srovei per laidininką ir kuri nuo to laiko žinoma kaipo Joule'io šilima, ir su šilima, kuri gali būti gauta elektromagnetinės indukcijos keliu.

Daugelyje galvaninių elementų elektros energijos šaltinis yra cinko degimas. Galvaninis elementas kaip tik yra tokia mašina, kurioje degant cinkui energija apsireiškia daugiausia elektros forma. Jeigu galvaninio elemento polius sujungti viela, tai visą tą energiją galima gauti šilimos forma. O sujungę galvaninį elementą su elektros varikliu, mes gausime judėjimą, vadinasi, paversime elektrą mechanišku darbu. Joule'is tarp kita ko nustatė, kad einant elektros srovei per laidininką susidaro šilimos kiekis, kuris yra tiesioginai proporcingas srovės kvadratui, laidininko elektriniam pasipriešinimui ir laikui: $Q = k. i^2. w. t$ (i — srovės stiprumas, w — elektros laidininko pasipriešinimas, t — laikas ir k — konstanta, kuri reiškia pastovų santykį tarp šilimos ir elektros energijos). Paduota čia lygtis žinoma fizikoje kaipo Joule'io dėsnis. O pavertus tą pačią elektros energiją elektros variklio pagalba mechanišku darbu, galima surasti santykis tarp šito mechaniško darbo ir šilimos kiekio Q, galima, vadinasi, nustatyti mechaniškas šilimos ekvivalentas.

Be to, Joule'is paėmė cilindrą iš minkštos geležies, apvyniojo jį dideliu skaičiumi vingių iš izoliuotos vielos, įstatė šitą vadinamąjį elektromagnetą į kalorimetrą tarp dviejų stiprių magnetinių polių tam pačiam kalorimetre, taip kad galima buvo sukti šitą elektromagnetą dviejų krintančių žemyn svorių pagalba, kaip aprašytame jau Joule'io pirmajame eksperimente. Sukant elektromagnetą tarp dviejų magnetinių polių vielos vingiuose susidaro mainios indukcijos srovės, kurios virsta šilima, einant Joule'io dėsniu. Be to, geležinis cilindras, vadinamoji geležies šerdis, magnetinasi tomis mainiomis srovėmis tai viena tai kita prasme, ir jo masėje irgi susidaro srovės. Visų šitų procesų išdava — geležies šerdies temperatūros pakilimas. Vadinasi, čia mes, atlikdami mechanišką darbą (masių slinkimas žemyn), sukeliame elektromagnetinės indukcijos reiškinį ir pagaliau išverčiame šitą elektromagnetinę energiją šilima. Taigi ir čia mes turime galimumą nustatyti santykį tarp mechaninio darbo ir šilimos. Visais tais gausingais ir su didžiausia precizija atliktais eksperimentais Joule'is gavo mechaniniam šilimos ekvivalentui 425, kaipo vidutinį skaičių.

Kiek vėliau, garsus inžinierius Hirn'as ištyrė šilimos susidarymą susidūrus neelastingiems kūnams, arba suteikiant smūgius neelastingam kūnui. Jis pasidirbo nedidelį tuščią cilindrą iš švino (neelastingas kūnas), pakabino jį taip ant šniūro, kad jis buvo priglaustas prie didelės akmens masės, ir davė jam visą eilę smūgių sunkaus geležinio cilindro pagalba, pakabinto ant dviejų šniūrų, taip kad jis galima buvo atlenkti ir paleisti. Iš pakilimo sunkaus geležinio cilindro masės centro galima buvo apskaityti atliktas darbas. O suteiktas švino cilindrui šilimos kiekis buvo surastas pripilant švino cilindrą vandens tuojau užbaigus jo trenkimą ir išmatavus šito vandens temperatūros pakilimą jautriu termometru. Šituo eksperimentu mechaniniam šilimos ekvivalentui Hirn'as nustatė gangreit tą patį skaičių kaip Joule'is.

Pagaliau Hirn'as apskaitė skirtumą šilimos vadinamųjų gyvų garų, įeinančių į garinės mašinos cilindrą, ir vadinamųjų atidirbusiųjų garų, išeinančių iš garinės mašinos cilindro ir tekančių į kondensatorių, ir palygino šitą šilimos skirtumą atliktam mašinos mechaniškam darbui. Iš čia Hirn'as irgi apskaitė mechaninį šilimos ekvivalentą ir rado jį jau augščiau nurodyto didumo.

Nuo tų laikų visa eilė tyrinėtojų įvairiais metodais, naudodamiesi daug tobūlesnėmis priemonėmis, nustatinėjo santykius tarp šilimos ir mechaniško darbo. Šiandien fizikoje mechaniniam šilimos ekvivalentui J priimti skaičiai: 427 kilogramometrai, arba 419×10^8 ergų vienai didžiajai kalorijai kambario temperatūra (15°) ir 430 kilogramometrų vienai didžiajai kalorijai 0° temperatūra. (Atsiminti, kas Kalorimetrijos skyriuje pasakyta apie nevienodumą kalorijų įvairių temperatūrų). Abudu šitie skaičiai teisingi

geografinėj platumoj 45° (išreiškiant J ergais reikia dauginti iš žemės greitėjimo g, kuris pareina nuo geografinės platumos).

Kaipo išdavą iš visų tų eksperimentų galima formuluoti toksai dėsnis: „Transformuojant darbas į šilimą, arba šilimą į darbą, darbo kiekis yra mechaniškai ekvivalentingas šilimos kiekiui, arba, kitaip sakant, tarp atlikto darbo ir sukurto šilimos kiekio veikia nuolatinis santykis, į kurį galima žiūrėti kaipo į universalinę konstantą.

Antra vertus, kadangi šilimą galima sukurti (gauti), tai ji jokiu būdu negali būti substancija. Priešingai prisieina žiūrėti į šilimą kaipo į ypatingą energijos rūšį, nes visuomet, kada išnyksta mechaninė energija del trynimo, susidaro šilima, ir atbulai, visuomet, kada garinėje mašinoje išnyksta šilima, gaunama mechaninė energija. Be to, visais tais atvejais kiekis išnykusios arba gautos mechaninės energijos yra tiesioginai proporcingas kiekiui gautos arba išnykusios šilimos.

19 §. Konfigūracija. Darbas ir energija. Kinetinės ir potencinės energijos tvarumo (nenykimo) dėsnis mechanikoje. Centrinės jėgos ir konservatingos sistemos. Perpetuum Mobile. Helmholtz'o apibendrinimas šito dėsnio visoms negyvos gamtos jėgoms (1847 metais). Kitos energijos rūšys. Energijos tvarumo dėsnis ir jo reikšmė fizikoje. Šilima kaipo kinetinė molekulų ir atomų energija.

Kalbėdami apie darbą ir energiją „Mechanikos skyriuje" mes matėme' kad masė, kuri randasi tam tikro augščio, vadinasi, tam tikro atokumo nuo žemės centro, turi tam tikrą kiekį potencinės energijos, nes atėmus nuo tos masės paramą, ji ims judėti ir susidūrus su kliūtimis atliks tam tikrą darbą. Potencinė tos masės energija pareina nuo traukos jėgos, veikiančios tarp jos ir žemės, o ta traukos jėga pareina nuo padėties masės žemės atžvilgiu, arba, tiksliau sakant, nuo relatyvios padėties žemės centro ir tos masės centro. Šituo atžvilgiu masę ir žemę, arba aplamai bet kurį kūną ir žemę mes galime pavadinti konfigūracija ir galime pasakyti, kad nuo konfigūracijos pareina šitų dviejų kūnų potencinė energija (šiuo atveju kūno ir žemės potencinė energija). Aplamai mechanikoje ir fizikoje kalbama apie konfigūraciją, kada imama domėn relatyvė padėtis atskirų kūnų bet kurios kūnų sistemos, arba atskirų materialinių dalelių bet kurios sistemos materialinių dalelių. Žinant konfigūraciją labai dažnai galima spręsti apie potencinę materialinės sistemos energiją ir apie darbą, kuris gali būti suteiktas sistemai, arba kurį sistema gali atlikti. „Mechanikos skyriuje" 35 § duota darbo definicija elementarinėj formoj. Apibendrindami darbo definiciją mes skaitysime darbu kiekvieną aktą, kuris sukelia materialinės sistemos konfigūracijos atmainą prieš jėgas, kurios stengiasi šitą konfigūraciją palaikyti. O sugebėjimą atlikti darbą mes vadiname energija ir matuojame šitą energiją atliktu darbu.

Tegu materialinė sistema, pradėjusi nuo tam tikros konfigūracijos, kurią mes pavadinsime pirmykščia konfigūracija, pereis per visą eilę atmainų ir pagaliau vėl sugrįš prie pirmykščios konfigūracijos. Jeigu ta sistema tokios rūšies, kad išoriniu veiksniu į ją atliktas darbas yra lygus visam darbui, kurį sistema atliko prieš išorines jėgas, tai tokia sistema vadinasi konservatinga sistema.

Šitas dėsnis išreiškia negalimumą Perpetuum Mobile, arba tokios kūnų kombinacijos, arba mašinos, kurios pagalba galima būtų gauti neribotą darbo kiekį, arba kinetinės energijos kiekį iš nieko. Perpetuum Mobile negalimumo principas buvo jau senai vartojamas mechanikoje įvairiems statikos ir dinamikos dėsniams įrodyti. Taip Galilėjus iš šito principo įrodė, kad mestas augštyn tam tikru greitumu kūnas, nukritęs žemyn įgyja tą patį greitumą. Stevinas šito principo pagalba nustato skysčio pusiausvyros sąlygas. Leonardo da Vinci, nagrinėdamas įvairių mechanizmų veikimą ir pusiausvyros sąlygas, formuluoja veikiančių jėgų ir atstangų momentų lygybę, kaipo būtiną pusiausvyros sąlygą, išeinant iš šito principo. Neigiama Perpetuum Mobile negalimumo išdava buvo formuluojama mechanikoje įvairiais būdais. Nurodysime čia į turintį didelės reikšmės mechanikoje Lagrange'o galimų pasistūmimų, arba galimų

darbų, principą, kuris išdėstytas „Mechanikos skyriuje" 42 §. Tas Lagrange'o dėsnis yra tik formulavimas abstraktinėje formoje Perpetuum Mobile negalimumo.

Iš mechanikos mes jau žinome, kad suma potencinės ir kinetinės energijos tokios kūnų sistemos, kurios konfigūracija mainosi tiktai veikiant tos sistemos vidujinėms jėgoms, yra pastovus dydis. Atsiminsime paprasčiausį pavyzdį - sistemą: akmuo svorio P augštyje H ir žemė. Tarp akmens ir žemės veikia traukos jėga. Tos jėgos veikimo linija yra tiesi linija, jungianti žemės centrą ir akmens masės centrą. Taigi mes čia turime tam tikrą konfigūraciją, kuriai priklauso tam tikras potencinės energijos kiekis. Atėmus nuo akmens paramą, akmuo ims slinkti greitėdamas žemės centro link. Vadinasi, atokumas tarp akmens ir žemės centro mainosi ir kaipo išdava potencinė sistemos energija virsta kinetine energija. Fiksuosime slenkančio žemyn akmens padėtį atokumo h nuo žemės centro. Užlikusi akmens potencinė energija bus lygi Ph, o įgyta jo kinetinė energija bus $^1/_2$ Mv^2, jeigu mes akmens masę pažymėsime raide M ir įgytą jo greitumą raide v. Mechanikoje jau senai buvo nustatytas šitai sistemai dėsnis, kuris sako, kad mainantis konfigūracijai tik sistemos vidujinių jėgų veikimų suma potencinės ir kinetinės energijos pasilieka be atmainos. Išreiškę šitą dėsnį matematiškai, mes turėsime:

$$PH = Ph + {}^1/_2\, Mv^2 = Ph + {}^1/_2\, M\,[2\,g\,(H-h)] = PH.$$

Vadinasi, bet kurioj akmens padėty tarp jo pirmykštės padėties ir žemės centro suma jo potencinės ir kinetinės energijos bus lygi jo pirmykščiai potencinei energijai PH.

Einant tuo pačiu dėsniu galima išspręsti matematinės švytuoklės judėjimo problemą, vadinasi, tokios švytuoklės, kuri svyruoja tuštumoje be trynimo žemės traukos jėgos įtakoje, ir palaikant nuolatinį atokumą tarp tos švytuoklės masės centro ir jos svyruojamosios ašies arba pakabinimo taško. Bet kurioj švytuoklės padėty suma jos potencinės ir kinetinės energijos yra pastovus dydis, lygus tam potencinės energijos kiekiui, kurį turi švytuoklė, atlenkta tam tikru kampu nuo savo normalinės arba pusiausvyros padėties. Pagaliau tas pats dėsnis veikia ir susidūrus dviem elastingiem kūnam, pavyzdžiui, nukritus elastingam rutuliui nuo tam tikro augščio ant elastingo pagrindo. Palietus pagrindą, rutulio kinetinė energija virsta potencine energija del priežasties elastingų jėgų atstangos vykstant deformacijai, o paskui tai deformacijai atsitaisant vėl elastingų kūnų potencinė energija virsta kinetine energija, ir kūnas įgyja tą patį greitumą, kurį jis turėjo paliesdamas pagrindą. Tik tas greitumas atkreiptas dabar augštyn, ir kūnas atšokęs nuo pagrindo pasiekia tą patį augštį, nuo kurio jis nudribo. Vadinasi, turint elastingą rutulį ir paleidus jį nuo tam tikro augščio ant elastingo pagrindo, jis, einant šituo dėsniu — pasikeitimu kinetinės energijos potencine ir potencinės energijos vėl kinetine — šokinėtų, taip sakant, amžinai. Visais tais atsitikimais mes turime sistemą fizinių kūnų arba sistemą materialinių dalelių, tarp kurių veikia jėgos linijomis, jungiančiomis tų fizinių kūnų masės centrus arba tų materialinių dalelių centrus. Tokios jėgos vadinasi centrinės jėgos, ir fizinių kūnų, arba materialinių dalelių, sistemos, kuriose veikia tokios centrinės jėgos, vadinasi konservatingos sistemos. Kadangi saulė su žeme ir mėnuliu ir visais kitais savo palydovais sudaro tokią konservatingą sistemą, tarp kurios atskirų dalių veikia centrinės jėgos, tai potencinės ir kinetinės energijos tvarumo dėsnis buvo jau senai pritaikintas visai saulės sistemai. Pavyzdžiui, žemė slinkdama savo orbita apie saulę, tai artinasi prie saulės tai tolsta nuo jos. Artinantis jai prie saulės mažėja jos potencine energija ir atitinkamai didėja jos kinetinė energija. O tolstant saulei nuo žemės, jos potencinė energija auga ir kinetinė energija mažėja. Bet suma tų dviejų energijų visą laiką pasilieka be atmainos. Tas pats reikia pasakyti ir svarstant judėjimus visų saulės sistemos kūnų. Bet galima eiti ir dar toliau — išplėsti šito dėsnio veikimą ir kitiems dangiškiems kūnams, nes tarp visų dangiškų kūnų veikia traukos jėgos, vadinasi, centrinės jėgos, ir žiūrint į saulę ir į kitas žvaigždes tiktai šitų jėgų veikimo atžvilgiu, mes turėsime tam tikrą ribotą konfigūraciją, nors ir be galo didelę, kurios atmainos pareina tik nuo vidujinių (centrinių) jėgų ir kurioms galioja kinetinės ir potencinės energijos tvarumo dėsnis. Tas pats dėsnis veikia ir kiekvienai mašinai, jeigu tik mašina dirba be trynimo. Suteiktas mašinai darbas FS yra lygus $^1/_2$ Mv^2, vadinasi, yra lygus ma-

šinos pagamintai judėjimo energijai (žiūr. „Mechanika“ 47 §, pusl. 84). Ir šituo dėsniu (apibendrinta abstraktine forma šitas dėsnis žinomas kaipo d'Alambert'o principas) galima naudotis svarstant mašinos veikimo ir pusiausvyros sąlygas, kaip ir Lagrange'o principu. Išimtis iš potencinės ir kinetinės energijos pastovumo dėsnio reiškiasi visais tais atvėjas, kada veikia trinimo jėgos ir kada mes turime dalyką su neelastingų kūnų susidūrimu. Paleista fizinė švytuoklė švytruoja nuolat mažėjančia amplitūda, paleistas nuo tam tikro augščio švino arba molio rutulys, susiploja ir neatšoka, o paleistas žemyn netobūlai elastingo kūno rutulys, atšokęs keletą sykių, pasiekdamas kiekvieną sykį vis mažesnį ir mažesnį augštį pagaliau sustoja. Visais tais atvejais mes turime nykimą kinetinės energijos ir, vadinasi, apsilenkimą su kinetinės ir potencinės energijos tvarumo dėsniu. Bet visais tais atvejais, kaip jau mes dabar žinome, vieton sunaikintos kinetinės energijos apsireiškia šilima ir taip, kad santykis tarp sumažintos kinetinės energijos ir apsireiškusios šilimos yra pastovus dydis, kaip tai nustatyta klasiškais eksperimentais Joule'io ir kitų. Trumpai kalbant, mes šiandien žinome, kad šilima irgi savotiška energijos rūšis. Taigi suprantama, kad konstatavus ekvivalentingumą tarp mechaniškos energijos ir šilimos, buvo daromos pastangos išplėsti energijos tvarumo dėsnį ant visų materialinių sistemų skaitant, kad visos materialinės sistemos yra konservatingos sistemos ir kad ta materialinių sistemų energija pareina ne tik nuo sistemos konfigūracijos, bet ir nuo daugelio kitų veiksnių, kaip, pavyzdžiui, nuo kūno temperatūros, spaudimo, elektros potencialo, magnetinio potencialo, chemiškos sudėties ir t. t. Taip, turint eilę kūnų nevienodos temperatūros, mes turėsime materialinę sistemą, kuri gali atlikti darbą. Slenkant šilimai nuo kūno augštesnės temperatūros į kūną žemesnės temperatūros, tasai pastarasis skėsis ir, vadinasi, atliks tam tikrą darbą prieš išorines jėgas. Taigi sistema nevienodai temperuotų kūnų turi tam tikrą kiekį energijos šilimos forma. Ar šita šilimos energija pareina nuo konfigūracijos tarp sudarančių kūną molekulų, ar ne, čia tai nesvarbu. Svarbus faktas darbo ir šilimos. Einant tuo pačiu keliu galima kalbėti ir apie kitas energijos rūšis, arba formas, kaip antai: elektros energiją, magnetinę energiją, chemišką energiją, šviesos energiją, gravitacijos energiją ir t. t., kurias visas galima išreikšti kaipo funkcijas tam tikrų veiksmų arba tam tikrų mainių dydžių, kaip elektros potencialas, chemiška sudėtis, paviršiaus įtempimas ir t. t.

Ilgą laiką fizikų tarpe viešpatavo nuomonė, kad visų gamtos procesų bėgį galima išreikšti matematinėmis lygtimis išeinant iš materialinių sistemų konfigūracijos ir jų dalių judėjimo. Vadinasi, fizikai buvo Descarte'o filosofijos įtakoje. Taigi suprantama, kad nuo to laiko, kada įsivyravo fizikoje energijos koncepcija, buvo daromos pastangos visas energijos rūšis interpretuoti kaipo vieną iš dviejų energijos formų, būtent: potencinės ir kinetinės energijos formų, kuriomis charakterizuojamos konservatingos materialinės sistemos. Taip, į chemijos energiją buvo žiūrima ir dar dalinai šiandien tebežiūrima kaipo į potencinę energiją, kuri pareina nuo relatyvios padėties atomų, sudarančių molekulas vienas kito atžvilgiu. Vienu žodžiu, buvo manoma, kad chemijos energija pareina nuo konfigūracijos, nelyginant kaip potencinė masių energija veikiant visuotinai Newton'o traukai (gravitacijos energija), arba kaip potencinė energija suspausto elastingo spyruoklio veikiant elastingoms deformacijos jėgoms. Didelis energijos kiekis, kuris pasiliuosuoja sprogstant parakui arba kitai kokiai sprogstamai medžiagai, buvo aiškinamas kaipo išdava sudarančių sprogstamos medžiagos molekulą atomų padėties pasikeitimo vienas kito atžvilgiu ir susidarymo naujų atomų grupių mažesnio vidujinio įtempimo. Taigi į cheminį procesą aplamai buvo žiūrima kaipo į pasikeitimą potencinės energijos kinetine, o tos kinetinės energijos šilima, ir tam cheminiam procesui buvo taikomas mechanikoje nustatytas potencinės ir kinetinės energijos tvarumo dėsnis. Suspaustas oras skėsdamasis gali atlikti darbą. Visiems žinomas šautuvas, kuris išmeta kulipką veikiant jo tūtoje suspaustam orui. Vadinasi, suspaustas oras ir aplamai suspaustos dujos turi energijos ir į šitą energiją ilgą laiką buvo žiūrima kaipo į potencinę energiją, kaipo į išdavą atstangos jėgų, veikiančių tarp suspausto oro arba, aplamai, dujų dalelių. Šiandien mes žiūrime į dujų spaudimą kaipo į padarinį intensyvaus judėjimo dujų molekulų ir smarkaus bombardavimo tomis molekulomis indo šonų. Taigi šiandien dujų energija laikoma kaipo kinetinė energija.

Einant kinetine materijos teorija galima žiūrėti į šilimą kaipo į kinetinę melekulų ir atomų energiją. Iš pagrindinės kinetinės teorijos lygties dujoms $pv = \frac{2}{3}\frac{1}{2} Nmc^2 = RT$ tiesiog išeina, kad absolutinė dujų temperatūra yra proporcinga dujų molekulų vidutinio greitumo kvadratui ($T =$ propor. c^2). Taigi, jeigu jau ne visa šilto kūno energija, tai bent žymi tos energijos dalis yra kinetinė energija.

Taip pat elektromagnetinė ir šviesos energijos buvo interpretuojamos dalinai kaipo potencinė ir dalinai kaip kinetinė energija. Bet kadangi gamtoje yra visa eilė procesų, kurių negalima matematiškai aprašyti išeinant iš materialinių sistemų konfigūracijos ir jų judėjimų, nes negalima, sakysime, duoti aiškios definicijos nematomų kūnų dalelių konfigūracijos ir tų dalelių judėjimų, tai šiandien klausimas, ar potencinė, ar kinetinė energija reikia laikyti ta ar kita rūšis energijos, nustoja savo reikšmės. Svarbu čia, kad, kaip rodo mums prityrimas, visos materialinės sistemos reikia laikyti konservatingomis sistemomis. Antra vertus, sekant bet kurios materialinės sistemos stovio atmainas, mes galime išreikšti visų tų atmainų efektą kaipo tam tikrą kiekį mechaniško darbo arba kaipo tam tikrą kiekį kinetinės energijos, arba pagaliau šilimos. Pagaliau svarbu ir tai, kad daugiausia vykstant gamtos procesams tų procesų efektas apsireiškia šilimos forma. Išeina taip, kad tarytum visos kitos energijos rūšys ypatingai noriai ir lengvai virsta šilima.

Įsivaizduokime sau materialinę sistemą, kurią veikia išorinės jėgos. Jeigu tos jėgos sukelia materialinės sistemos konfigūracijos arba, aplamai, stovio atmainą, ir šiai atmainai priešinasi vidujinės materialinės sistemos jėgos, tai mes sakome, kad išorinės jėgos atlieka darbą materialinės sistemos atžvilgiu. Vadinasi, šituo atveju materialinės sistemos energija padidės tiek, kiek bus atlikta darbo išorinių jėgų. Atbulai, jeigu materialinės sistemos stovio atmaina vyksta del priežasties tos sistemos vidujinių jėgų veikimo, o išorinės jėgos priešinasi tai atmainai, tai mes sakome, kad išvidinės materialinės sistemos jėgos atlieka darbą prieš išorines jėgas, veikiančias tą sistemą. Šituo atveju materialinės sistemos energija sumažės tiek, kiek bus vidujinių jėgų atlikto darbo prieš išorines jėgas. Taigi visais atvejais į darbą reikia žiūrėti kaipo į perdavimą energijos nuo vienos sistemos kitai sistemai. Sistema, kuri eikvoja energiją, atlieka darbą tos sistemos atžvilgiu, kuri energija gauna, arba absorbuoja. Visais atvejais vienos sistemos išeikvotas energijos kiekis yra lygus kitos sistemos absorbuotam energijos kiekiui.

Jeigu dabar mes sau įsivaizduosime dvi material¹nes sistemas, sujungtas į vieną sistemą — didesnę, tai einant tuo, kas čia pasakyta, aišku, kad visos tos sistemos energija negali būti nei padidinta nei sumažinta veikiant vienai sistemai kitą. Mes galime iš visų materialinių sistemų sudaryti vieną sistemą, ribotą ir uždarytą sistemą, ir tada galime tai sistemai pritaikinti tai, kas čia pasakyta. Taip samprotaudami mes galime formuluoti tokį dėsnį: visa kiekvienos sistemos energija yra toks dydis, kuris negali būti nei padidintas nei sumažintas veikiant tos sistemos dalims vienai kitą, arba aplamai tos sistemos vidujinėms jėgoms veikiant, bet ta energija gali virsti bet kuria energijos forma, turint omeny visas tas formas, kuriomis gali apsireikšti energija. Tai ir yra energijos tvarumo dėsnis užvis labiau apibendrinta forma. Iš to, kas anksčiau pasakyta, aišku, kad šita energijos tvarumo principo redakcija išreiškia tik negalimumą Perpetuum Mobile ribotoje ir uždarytoje materialinėje sistemoje arba, konkrečiai kalbant, negalimumą mašinos, kuri galėtų judėti neeikvodama energijos, arba tokios mašinos, iš kurios galima būtų gauti daugiau energijos negu jai suteikta, vadinási, kurios pagalba galima būtų iš nieko kurti neribotus kiekius energijos. Kalbant visiškai konkrečiai, energija yra toks dalykas, kurios žmogus nei sukurti nei panaikinti negali. Žmogui lemta tiktai atliekant darbą versti vienas energijos rūšis kitomis, lemta tiktai transformuoti energiją ir gauti darbas visais tais atvejais, kada energijos transformacija eina savaime, veikiant vidujinėms materialinės sistemos jėgoms, nes kiekviena energijos transformacija yra surišta su tam tikro darbo atlikimu, kuris bus teigiamas tuo atveju, kada vidujinės sistemos jėgos atlieka darbą prieš išorines, ir neigiamas tuo atveju, kada išorinės jėgos atlieka darbą prieš vidujines sistemos jėgas.

Garsus Vokietijos fizikas Hermann von Helmholtz'as, kuris savo jaunystėje profesoriavo Karaliaučiuje, paskui buvo Heidelbergo Universiteto ir pagaliau Berlyno Universiteto profesorium, būdamas tuo pačiu laiku Berlyno Akademijos prezidentu, pirmutinis augščiau aprašyta bendra forma paskelbė energijos tvarumo dėsnį. 1847 metais liepos 23 dieną jis padarė pranešimą Berlyno Fizikos Draugijai tema: „Apie jėgos tvarumą" (Ueber die Erhaltung der Kraft), kuriame smulkiai išdėstė visus energijos tvarumo dėsnio teoretinius motyvus, išeidamas iš Perpetuum Mobile negalimumo ir išplėsdamas kinetinės ir potencinės energijos pastovumo dėsnį, nustatytą mechanikos srityje, ant visų kitų fizikos sričių, remdamasis šilimos ir darbo ekvivalentingumo principu. Čia anksčiau bendrais bruožais išdėstytas Helmholtz'o samprotavimas, kuriuo jis prieina prie energijos tvarumo principo. Neišdėstytas tik smulkus matematinis Helmholtz'o samprotavimo pagrindas. Tiesa, Helmholtz'as nevartojo dar žodžio energija; šis terminas buvo pasiūlytas XIX šimtmečio pradžioj Young'o, bet visa augščiau nurodyto Helmholtz'o veikalo argumentacija ir jo vartojamas terminas „jėgos ekvivalentas" (šilimos jėgų ekvivalentas, elektros jėgų ekvivalentas ir elektromagnetinių jėgų ekvivalentas ir t. t.) aiškiai rodo, kad jis čia turi omeny tą dalyką, kurį mes šiandien vadiname energija.

Dalykas tas, kad visa tai, ką mes žinome apie materiją, liečia eilę fenomenų, kuriuose energija pereina nuo vienų materijos dalių į kitas, pakol toje eilėje bus paliestas mūsų kūnas ir mūsų sąmonė per tam tikrą jutimą, kuris susidaro veikiant toms ar kitoms materijos dalims mūsų kūną. Dvasios procesu, kuris jungiasi su tokiais jutimais, mes įgyjame pažinimą tų jutimų atsiradimo sąlygų ir jų priežasčių ieškome objektuose, kurie nėra mūsų kūno dalimis. Bet visais tokiais atvejais faktas, kurį mes konstatuojame, yra tas, kad vienos materijos dalys veikia kitas dalis. Šitas vienų materijos dalių veikimas kitų vadinamas jėga, akcija ir reakcija, dinaminiu veikimu. Kas čia betarpiai apsireiškia, tai yra kūnų judėjimo atmaina, tarp kurių vyksta augščiau nurodytas veikimas. Procesas, kuriuo dinaminis veikimas sukelia judėjimo atmainą, fizikoje vadinamas darbu. Anksčiau mes jau matėme, kad darbas visuomet yra išdava energijos transformacijos, kitaip sakant, energijos perėjimo nuo vienos kūnų sistemos į kitą. Tuo būdu mes neturime kito supratimo apie materiją kaip tik apie tokį dalyką, kuriam gali būti suteikta energija nuo kitų materijos dalių, arba kuris iš savo pusės gali suteikti energiją kitoms materijos dalims. Taigi mes pažįstame materiją ir energiją tiktai sąryšy vienos su kita. Todel mes ir manome, kad begalinė erdvė, kuri atrodo mums tuščia, užimta materija, užimta pasauliniu eteriu, nes toje erdvėje mes turime šviesos ir šilimos spindulius, kurie išėję iš saulės arba iš kitos kurios žvaigždės nepasiekė dar žemės arba kito kokio kūno. Bet šitie spinduliai turi energijos. Vadinasi, turi būti substancija, kuri tarpininkauja perduodant šilimą ir šviesą nuo vienų erdvės kūnų kitiems, atskirtiems milionais kilometrų.

Taigi jeigu Helmholtz'as savo klasiškam veikale kalba apie jėgos tvarumą ir apskaito mechaninį ekvivalentą įvairių negyvos gamtos jėgų, tai jis vartoja žodį „jėga" kaip tik ta prasme, kaip mes šiandien vartojame žodį energija.

Mes jau anksčiau matėme, kad kūno arba kūnų sistemos energija yra tos sistemos stovio funkcija, ir kadangi tas stovis pareina nuo tokių dydžių, kaip, pavyzdžiui, spaudimas, temperatūra, elektros potencialas, cheminė sudėtis ir t. t., tai ir energija pareina nuo visų tų veiksnių ir gali būti išreikšta kaipo tų dydžių funkcija. Taigi norint operuoti tuo dydžiu, kurį mes vadiname energija, reikia aiškiai apibrėžti įvairius fizinius stovius, vadinasi, ir tokius stovius, kurie pareina nuo konfigūracijos ir judėjimo nematomų materijos dalelių. Augščiau nurodyta pažiūra į energiją, kaipo į funkciją įvairių fizinių-cheminų veiksnių, duoda galimumo išspręsti šitą uždavinį ir tokiais atvejais.

Į kūnų, arba kūnų sistemos, energiją, remiantis tuo, kas anksčiau pasakyta, reikia žiūrėti kaipo į tos sistemos sugebėjimą daryti išorinius veikimus — sukelti judėjimo atmainą kitų kūnų, arba kitos sistemos, tos sistemos šilimos stovio atmainą, cheminės sudėties atmainą ir t. t. Visus tokius veikimus mes galime išreikšti kaipo tam tikrą darbą arba kaipo tam tikrą kinetinės energijos kiekį. Išreikšdami išorinius kūnų

sistemos veikimus tokiu būdu mes gausime tai, kas fizikoje vadinasi mechaninis išorinių veikimų ekvivalentas.

Įsivaizduokime sau dabar tą pačią kūnų sistemą trijuose įvairiuose fiziniuose chemiškuose stoviuose. Vieną iš tų stovių laikysime pradžios, arba normaliniu, stoviu, kitus du stovius pažymėsime cifromis (1) ir (2). Tegu eilei šilimos ir mechaniškų veikimų mūsų sistema pereis iš stovio (1) į normalinį stovį. Pažymėsime mūsų sistemos energiją normaliniame stovyje raide E_0 ir stovyje (1) raide E_1, mechaninį ekvivalentą visų šilimos veikimų pereinant sistemai iš stovio (1) į normalinį stovį raide Q_1 ir mechaninį darbą, kuris iš oro atliktas mūsų sistemos atžvilgiu, raide A_1. Tad mes turėsime $E_1 - E_0 = Q_1 + A_1$. Vadinasi, energijos atmaina, pereinant mūsų sistemai iš stovio (1) į normalinį stovį bus lygi sumai visų iš oro mūsų sistemai padarytų šilimos ir mechaniškų veikimų. Pervesime dabar mūsų sistemą iš stovio (2) į normalinį stovį. Pažymėję mūsų sistemos energiją stovyje (2) raide E_2, mechaninį šilimos ekvivalentą pereinant nuo stovio (2) į normalinį stovį raide Q_2 ir pagaliau išorinių jėgų atliktą mechanišką darbą pereinant raide A_2 gausime: $E_2 - E_0 = Q_2 + A_2$. Atėmę šitą lygtį iš pirmosios lygties mes gausime $E_1 - E_2 = (Q_1 - Q_2) + (A_1 - A_2)$, arba pažymėję $Q_1 - Q_2 = Q$ ir $A_1 - A_2 = A$, $E_1 - E_2 = Q + A$. Vadinasi, mūsų sistemos energijos atmaina pereinant iš stovio (1) į stovį (2) gali būti išreikšta kaipo darbo ekvivalentas visų iš oro sistemai padarytų šilimos ir mechaniškų veikimų. Tai ir bus vadinamasis pirmasai termodinamikos dėsnis. Eidami tuo dėsniu mes galime surasti bet kuriam fiziškai chemiškam procesui energijos balansą, apskaitę mechaninį ekvivalentą, arba darbo ekvivalentą visų tų veikimų, kurie sudaro procesą. Iš paskutinės lygties aišku, kad nėra jokio reikalo žinoti visos kūnų sistemos energijos tame ar kitame stovyje, kad galima būtų apskaityti energijos atmaina pereinant iš vieno stovio į kitą, ir nėra reikalo daryti tų perėjimų iš vieno stovio į kitą per vadinamąjį normalinį, arba nulinį, stovį (apie nulinį stovį čia kalbame ta prasme, kad mes savavališkai galime skaityti energijos turinį normaliniame stovyje nuliu). Bet reikia čia dar pabrėžti, kad perėjimas iš vieno fiziškai chemiško stovio į kitą gali būti atliktas įvairiais keliais ir būdais, bet energijos balansas visuomet bus tas pats, nes įvairiais būdais galima išėjus iš tam tikro fiziško chemiško stovio pereiti per eilę stovių ir sugrįžti prie pirmykščio stovio. O sugrįžę prie pirmykščio stovio, mes turėsime sistemoje tą patį energijos turinį, koksai buvo pradedant šitą ciklą, nes mes jau matėme, kad energija yra fiziško chemiško stovio funkcija. Tas faktas, kad energijos atmaina visiškai nepareina nuo būdo, kuriuo ta ar kita kūnų sistema pervedama iš vieno stovio į kitą stovį, sudaro tvirtą pagrindą visos energijos teorijos.

Tai, kas čia pasakyta apie mechaninį ekvivalentą visų išorinių šilimos ir mechaniško darbo veikimų, pereinant iš vieno stovio į kitą stovį, galima atkartoti ir kitokiu išorinių veikimų atžvilgiu, kaip antai: elektromagnetinių, šviesos, chemiškų ir t. t. Visiems tokiems išoriniams veikimams galima apskaityti mechaninis ekvivalentas, ypač turint omeny tai, kas pasakyta anksčiau, būtent, kad vykstant gamtos procesams, įvairios energijos rūšys labai lengvai virsta šilima, taip kad visoms toms energijoms mes žinome šilimos ekvivalentą. O šilimos mes žinome mechaninį ekvivalentą. Taigi pažymėję darbų vertę arba mechaninį ekvivalentą įvairių energijos rūšių pereinant kūnų sistemai iš vieno stovio į kitą stovį raidėmis A_1, A_2, $A_3 \ldots$, mes turėsime toms kūnų sistemos energijos atmainoms lygtį $E_1 - E_2 = A_1 + A_2 + A_3 \ldots$ O jeigu mūsų sistema pereina iš vieno stovio į kitą stovį tiktai savo vidujinėms jėgoms teveikiant, tai tada visų išorinių veikimų darbo vertybė yra lygi 0, kitaip sakant, tada $E_1 - E_2 = 0$ ir, vadinasi, $E_1 = E_2$ arba $\Sigma\,(E) = \text{const.}$ Tai yra matematiškas išreiškimas energijos tvarumo dėsnio sistemai, kurioje vyksta atmainos tiktai tos sistemos vidujinėms jėgoms teveikiant. Tas dėsnis formuluotas mūsų anksčiau žodžiais.

Bet ir veikiant išorinėms jėgoms tas pats dėsnis galioja, nes visi išoriniai veikimai tai ar kitai kūnų sistemai yra kitų sistemų veikimai. O jungiant visą eilę sistemų į vieną didelę sistemą mums nebeteks kalbėti apie išorinius veikimus, mes turėsime darbo tik su vidujinių jėgų veikimu ir, vadinasi, tokiai didelei kūnų sistemai galėsime pritaikinti energijos tvarumo dėsnį ta prasme, kad visa tos sistemos energija nesimaino

vykstant toje sistemoje toms ar kitoms atmainoms del jos vidujinių jėgų veikimo. Jeigu mes turėtumėm pagrindo laikyti visą pasaulį labai didele, bet visgi ribota ir uždara kūnų sistema, tai mes galėtumėm tvirtai laikytis energijos tvarumo dėsnio visam pasauliui. Bet tokio pagrindo mes šiandien neturime ir, vadinasi, energijos tvarumo dėsnis gali būti taikomas be jokių abejojimų ir svyravimų tiktai ribotoms ir uždaroms kūnų sistemoms.

Mes žinome, kad materijos dalys turi individualinę egzistenciją, mes galime todel identifikuoti atskiras materijos dalis ir sekti jų transformaciją. Bet mes neturime jokio galimumo identifikuoti tą ar kitą dalį energijos, arba sekti jos transformacijas, nes energija neturi individualinės egzistencijos. Garsus anglų fizikas Maxwell'is sako: „Materialinio pasaulio tranzakcijos darosi einant, taip sakant, kredito sistema. Kiekviena tranzakcija yra tai, kad tiek ir tiek kredito, arba tiek ir tiek energijos perleidžiama nuo vieno kūno kitam. Tasai perlaidos aktas, arba apmokėjimas, vadinasi darbas. Bet perleista energija neturi jokių pažymių, remiantis kuriais galima būtų ją vėl pažinti ir identifikuoti, kada ji pereina iš vienos formos į kitą formą, nelyginant kaip pinigai neturi jokių pažymių, kuriais galima būtų juos identifikuoti ta prasme, kad jie paeina iš to ar kito asmens."

Reikia dar pasakyti, kad fizinio kūno energijos absolutinę vertę negalima nustatyti arba apskaityti. Materialinės sistemos energija gali būti nustatyta tik relatyviai. Tiesa, galima apskaityti sistemos dalių kinetinę energiją, imant domėn tų dalių judėjimą sistemos masės centro atžvilgiu. Bet visa sistemos energija susideda iš jos dalių kinetinės energijos masės centro atžvilgiu ir dar visos sistemos masės kinetinės energijos, nes ta masė slenka masės centro greitumu kitų sistemų masės centro atžvilgiu. Taigi šitas greitumas — masės centro greitumas — gali būti apskaitytas, arba surastas, tiktai kito kūno atžvilgiu, vadinasi, tokio kūno, kuris paimtos sistemos atžvilgiu yra išorinis kūnas. Vadinasi, mūsų sistemos masės centro greitumas bus įvairios vertybės, nes pareis nuo to kūno, kurio atžvilgiu mes paimsime mūsų sistemos masės centro judėjimą. Taigi šita kinetinės energijos sistemos dalis gali būti nustatyta tiktai sauvališkai, sekant judėjimą to ar kito kūno atžvilgiu. Aišku, kad mes galėtumėm nustatyti šitą kinetinės energijos dalį, jeigu mes žinotumėm materialinio pasaulio masės centro padėtį. Bet to mes nežinome. Bet dar ir del kitos priežasties visa materialinės sistemos energija yra nežinomas dydis. Dalykas tas, kad nėra galimumo pervesti sistemą į tokį stovį, kuriame ji nebeturėtų jokios energijos. O jeigu mes iš sistemos negalime atimti dalies energijos, tai mes nieko ir negalime pasakyti apie tokios dalies didumą. Faktiškai mes galime nustatyti tiktai energijos atmainą vykstant gamtos procesams, bet šito ir pakanka, kad tuos procesus galėtume pažinti ir net juos kontroliuoti, nes visi procesai pareina ne nuo absolutinės kūnų sistemos energijos vertybės, bet tik nuo tų kūnų sistemų energijos atmainos.

Įvairių energijos formų, kaip antai, gravitacija, elektromagnetinė energija, šilimos energija, chemijos energija ir t. t. diskusija sąryšy su sąlygomis jų perėjimo iš vienos formos į kitą ir sąryšy su jos nuolatiniu pasklidimu atliekant darbą, apie ką bus kalbama vėliau, ir yra svarbiausias fizikos uždavinys. Šitam uždaviniui tinkamai išspręsti geriausias švyturys yra energijos tvarumo dėsnis.

20 §. I-jo termodinamikos dėsnio pritaikymas dujoms. Adiabatinė būvio atmaina ir to būvio lygtis.

Norėdami duoti pavyzdį, kaip energijos tvarumo dėsnio arba I-jo termodinamikos dėsnio pagalba sprendžiami fizikos uždaviniai, išvesime adiabatinės būvio atmainos lygtį idealinėms dujoms.

Mes jau žinome, kad spaudžiant dujas pasiliuosuoja šilima, o skečiantis dujoms prieš išorinį spaudimą išnyksta šilima. Kada dujos randasi inde iš gero laidininko, tai pasiliuosuojanti spaudžiant dujas šilima lengvai ir greitai išeina aplinkon, lygiai kaip ir dujoms plečiantis šilimos nuostolis lengvai ir greitai papildomas tekančia iš

aplinkos šilima. Taigi tokiomis aplinkybėmis dujų temperatūra nesimaino, dujų tūris mažėja arba didėja esant tai pačiai temperatūrai, ir toksai procesas vadinasi izoterminis procesas. Žinoma jau mums Boyle-Mariott'o dėsnio lygtis $pv = \text{const.}$ yra izoterminės dujų būvio atmainos lygtis, ir išreikšdami šitą izoterminę būvio atmainą kreivąja linija, gausime idealinėms dujoms lygiašonės arba stačiakampės hiperbolos dalį CAFB — vieną iš vadinamųjų žinomų mums izotermų (žiūr. 83 pieš.). Taškui arba būviui A ant tos izotermos atatinka tūris OD ir spaudimas DA. Turint dujas cilindre iš gero laidininko uždarytas stumekliu, suspausime jas taip, kad jų tūris sumžėtų iki OE atitinkamai padidėjus jų spaudimui iki EF. Mes tuo būdu pereisime ant izotermos iš būvio A į būvį F. O pasiekę šitą stovį F suteiksime dujoms tą šilimos kiekį, kuris iš jų išėjo į aplinką spaudžiant jas nuo A iki F. Suteikdami dujoms šitą šilimos kiekį, palaikysime tūrį OE. Tad einant Gay-Lussac'o dėsniu atitinkamai padidės jų spaudimas iki EG. Mes tuo būdu pereisime iš stovio A, kurį charakterizuoja tūris OD ir spaudimas AD, į stovį G, kurį charakterizuoja tūris OE ir spaudimas EG. Šitą perėjimą mes galime atlikti ir kitokiu būdu, būtent: patalpinę mūsų dujas cilindriniame inde su stumekliu iš medžiagos, kuri yra absolutinis šilimos izolatorius (absolutinis šilimos nelaidininkas). Spaudžiant dujas tokiam inde, susidariusi šilima negali išeiti iš indo į aplinką, todel dujų temperatūra pakils. Taip pat skečiantis dujoms prieš išorinį spaudimą tokiame inde pasidarys šilimos nuostolis, kuris negali būti papildytas tekančia iš aplinkos šilima, ir todel tokiu atveju dujų temperatūra nukris. Dujų stovio atmaina tokiomis sąlygomis, kada dujos visiškai izoliuotos nuo aplinkos, vadinasi adiabatinė atmaina. Taigi paėmę dujas inde iš izoliuojančios medžiagos tūrio OD ir spaudimo AD ir spausdami tas dujas pakol jų tūris sumažės iki OE, mes iš stovio A pereisime į naują stovį G adiabatiškai išilgai kreivos linijos AG, kuri sudaro dalį vadinamosios adiabatinės kreivosios. Iš 83 piešinio aišku, kad adiabatinė kreivoji eina stačiau kaip izoterma. Jos puolimas statesnis. Pratęsime iš taško A liniją AH lygiagrečiai abscisai iki susikirtimo su spaudimo linija EG taške H. Paimsime ant izotermos CAFB du tašku A ir F labai arti vieną nuo kito. Tad į liniją AF galima žiurėti kaip į tiesiąją liniją, liečiančią izotermą CAFB taške A. Tangensas kampo, kurį sudaro šita liečiamoji linija su abscisos linija, yra izotermos statumo arba puolimo mastas.

Pieš. 83.

Šitas kampas čia lygus FAH ir $\operatorname{tg} FAH = \frac{FH}{HA}$. Bet FH yra spaudimo padidėjimas pereinant ant izotermos iš stovio A į stovį F. Pažymėsime šitą spaudimo padidėjimą dp. Tai bus nedidelis spaudimo padidėjimas, nes taškai A ir F imami arti vienas nuo kito. Taip pat linija HA reiškia nedidelį tūrio sumažėjimą pereinant iš stovio A į stovį F. Pažymėsime šitą tūrio sumažėjimą dv. Tad $\operatorname{tg} FAH = \frac{dp}{dv} =$ izotermos puolimo laipsnis. Tegu spaudimas $AD = p$ ir tūris $OD = v$. Tad pritaikindami Boyle-Mariott'o dėsnį, mes turėsime:

$$pv = (p + dp)(v - dv) = pv - pdv + vdp - dpdv,$$

(čia dp, dv reiškia be galo mažus tūrio ir spaudimo pasikeitimus, vadinamuosius tūrio ir spaudimo diferencialus), arba $vdp - pdv = 0$, nes dp. dv kaipo sandauga iš dviejų labai mažų dydžių bus irgi labai mažas dydis, kuris galima atmesti dydžių vdp ir pdv atžvilgiu. Iš paskutinės lygties išeina $\frac{dp}{dv} = \frac{p}{v}$. Taigi $\operatorname{tg} FAH = \frac{p}{v}$. Vadinasi, izotermos

statumo laipsnis arba puolimo laipsnis gali būti išreikštas kiekvienam tos izotermos taškui kaipo spaudimo ir tūrio santykis. Iš 83 piešinio aišku, kad adiabatinis kreivosios AG kritimas matuojamas tangensu kampo, kurį sudaro su abscisa liečiamoji linija taške A kreivosios AG. Tas kampas bus čia HAG ir tg $HAG = \frac{HG}{HA}$. Jeigu taškai A ir G irgi paimti arti vienas nuo kito, tai linija HG bus nedidelis spaudimo padidėjimas dp, bet visgi didesnis kaip atitinkamas spaudimo padidėjimas izoterminio proceso, esant tam pačiam tūrio sumažėjimui dv. Taigi tg $HAG = \frac{dp}{dv}$, tiktai tas santykis, kaip rodo ir piešinys, čia bus didesnis. Norint išreikšti adiabatinės kreivosios kritimą tūrio ir spaudimo pagalba, reikia žinoti adiabatinio proceso lygtį. Išeinant iš energijos tvarumo dėsnio nesunku šitą lygtį išvesti.

Paimsime vieną dujų gramomolekulą prie absolutinės temperatūros T ir spaudimo p. Tegu tokiomis sąlygomis viena dujų gramomolekula užima tūrį v. Suteiksime toms dujoms labai mažą šilimos kiekį dQ, leisdami dujoms skėstis prieš išorinį spaudimą. Mes jau žinome, kad tokiomis sąlygomis dujų temperatūra pakils ir, be to, dar dujos atliks tam tikrą darbą prieš atmosferą. Suteikus labai mažą šilimos kiekį dQ, dujų temperatūros pakilimas dT bus irgi labai mažas ir tam temperatūros pakilimui išeikvota šilima bus $C_v \cdot dT$, kur C_v reiškia molekulinę dujų šilimą nuolatinio tūrio. Jeigu skečiantis dujoms bus mažas tūrio padidėjimas dv, tad mes galime skaityti, kad spaudimas p nepasikeis. Tokiomis sąlygomis dujų atliktas prieš atmosferą darbas bus pdv. Eidami energijos tvarumo dėsniu, mes turėsime:

$$dQ = C_v\, dT + pdv \quad (1),$$

vadinamąją Clapeyron'o lygtį.

Antra vertus, diferencijuodami Boyle-Mariott'o Gay-Lussac'o lygtį pv=RT, mes gausime:

$$pdv + vdp = RdT \quad (2).$$

Šitų dviejų diferecinių lygčių pagalba mes galime nustatyti santykius adiabatiniam procesui tarp tūrio ir spaudimo iš vienos pusės ir tūrio ir absolutinės temperatūros iš kitos pusės.

Eleminuosime iš lygčių (1) ir (2) dT. Tad mes gausime: $dT = \frac{1}{R} pdv + \frac{1}{R}\, vdp$,

$$\text{ir } dT = \frac{dQ - pdv}{C_v},$$

$$\text{arba } dQ - pdv = \frac{C_v}{R} pdv + \frac{C_v}{R} vdp,$$

$$\text{arba } dQ = \frac{C_v + R}{R} pdv + \frac{C_v}{R} vpd.$$

Mes jau žinome (žiūr. 11 paragrafą apie lyginamąją dujų šilimą), kad $C_p - C_v = R$.
Taigi $dQ = \frac{C_p}{R} pdv + \frac{C_v}{R} vdp$.

Jeigu mes turime adiabatinį procesą, tai išorinis šilimos efektas bus lygus nuliui, nes esant tokiam procesui šilima negali nei išeiti į aplinką, nei įeiti iš aplinkos. Vadinasi, adiabatiniam procesui

$$dQ = 0 \text{ ir } \frac{C_p}{R} pdv + \frac{C_v}{R} vdp = 0,$$

$$\text{arba } C_p\, pdv + C_v\, vdp = 0,$$

$$\text{arba padalinus šitą lygtį iš } C_v \quad \frac{C_p}{C_v}\, pdv + vdp = 0.$$

Santykis tarp abiejų dujų lyginamųjų šilimų $\frac{C_p}{C_v} = k$ (žiūr. 11 paragrafą apie lyginamąją dujų šilimą). Taigi pagaliau mes gausime diferencinę lygtį tokio pavidalo:

$kpdv + vdp = 0$, arba padalinę abi jos puses iš pv: $k\frac{dv}{v} + \frac{dp}{p} = 0$. Integruodami šitą diferencinę lygtį gausime $k\ln v + \ln p = C$, arba paėmę integralus $\frac{dv}{v}$ ribose nuo v iki v_1 ir $\frac{dp}{p}$ ribose nuo p iki p_1, mes turėsime: $k\ln\frac{v}{v_1} = \ln\frac{p_1}{p}$.

$$\text{Iš čia išeina } \left(\frac{v}{v_1}\right)^k = \frac{p_1}{p}, \text{ arba } pv^k = p_1 v_1^k = \text{const.} \ldots (3)$$

Šita lygtis taip pat matematiškai išreiškia adiabatinį procesą, kaip Boyle-Mariott'o lygtis izoterminį procesą. Šita lygtis žinoma fizikoje kaipo Poisson'o lygtis. Jos pagalba mes galime dabar surasti tangensą kampo GAH, arba kritimo laipsnį adiabatinės kreivosios. Šituo atveju mes turime $pv^k = (p + dp)(v - dv)^k$.

Vystydami binomą $(v - dv)^k$ gausime:

$$pv^k = (p + dp)\,(v^k - kv^{k-1}dv + k\,(k-1)\,v^{k-2}dv^2 + \ldots).$$

Mes čia galime pasitenkinti tik pirmaisiais dviem binomo nariais, nes visi kiti nariai turės labai mažą dydį dv laipsniuose, augštesniuose kaip 1 ir, vadinasi, bus labai maži dydžiai sulyginti su pirmais dviem išvystyto binomo nariais.

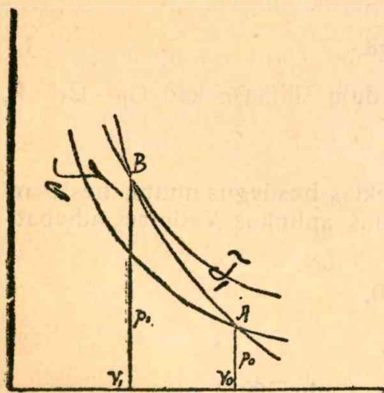
$$\text{Taigi } pv^k = pv^k - kpv^{k-1}dv + v^k dp - kv^{k-1}dpdv.$$

Narys $kv^{k-1}dpdv$, kaipo turįs sandaugą iš dviejų labai mažų dydžių, bus irgi labai mažas dydis, ir mes jį atmetame. Taigi pagaliau mes prieisime prie lygties

$$-kpv^{k-1}dv + v^k dp = 0,$$

$$\text{arba } v^k dp = kpv^{k-1}dv.$$

$$\text{Iš čia išeina } \frac{dp}{dv} = k\,\frac{pv^{k-1}}{v^k} = k\,\frac{p}{v}$$



Pieš. 84.

Vadinasi, tangensas kampo GAH bus k sykių didesnis kaip tangensas kampo FAH, kitaip sakant, kritimo laipsnis adiabatinės kreivosios bus k sykių smarkesnis kaip izotermos.

Nustatysime dar, vadovaudamies energijos tvarumo dėsniu, santykį tarp dujų tūrio ir absolutinės temperatūros adiabatiniam procesui. Paimsime vėl 1 gramomolekulą idealinių dujų tokiam stovyje, kuris atitinka taškui A ant izotermos T_0 (žiūr. 84 pieš.). Vadinasi, šitame stovyje dujos užima tūrį v_0, yra slėgimo p_0 ir randasi esant absolutinei temperatūrai T_0. Suspausime dabar adiabatiškai šitą dujų gramomolekulą pakol pasieksime naują dujų stovį, kuris atitinka taškui B ant adiabatinės kreivosios AB. Šitame naujame stovyje dujų tūris bus v_1, jų spaudimas p_1 ir jų absolutinė temperatūra T_1. Reikia nustatyti perėjimo lygtį nuo stovio A (pradžios stovio) į stovį B. Šitą uždavinį mes išspręsime, išeidami vėl iš Clapeyron'o lygties ir Boyle-Mariott'o Gay-Lussac'o diferencijuotos lygties:

$$dQ = C_v\, dT + pdv \ldots (1); \quad pdv + vdp = RdT \ldots (2)$$

Eleminuodami iš šitų abiejų lygčių pdv gausime

$$pdv = dQ - C_v dT.$$

$pdv = RdT - vdp$, iš kur išeina $dQ = (R + C_v)\,dT - vdp = C_p\,dT - vdp$, (nes, kaip mes žinome, $R + C_v = C_p$).

Spaudžiant dujas adiabatiškai nebus jokio šilimos efekto iš oro ir todel $dQ = 0$. Taigi

$$C_p dT - vdp = 0.$$

Iš Boyle-Mariott'o Gay-Lussac'o dėsnio $pv = RT$ išeina $v = \frac{RT}{p}$. Pakeisdami šituo reiškiniu v paskutinėje lygtyje, mes gausime: $C_p dT - \frac{dp}{p} RT = 0$,

$$\text{arba} \quad \frac{C_p}{R} \cdot \frac{dT}{T} = \frac{dp}{p}$$

$$\text{Bet} \quad R = C_p - C_v$$

$$\text{Taigi} \quad \frac{C_p}{C_p - C_v} \cdot \frac{dT}{T} = \frac{dp}{p}$$

arba trumpinant pirmą kairiosios pusės daugiklį dydžiu C_v

$$\frac{\frac{C_p}{C_v}}{\frac{C_p}{C_v} - 1} \cdot \frac{d \cdot T}{T} = \frac{dp}{p}.$$

Kadangi $\frac{C_p}{C_v} = k$, tai mes gausime šią diferencinę lygtį galutine forma: $\frac{k}{k-1} \cdot \frac{dT}{T} = \frac{dp}{p}$.

Šita lygtis galioja be galo mažiems temperatūros ir spaudimo pasikeitimams. Norint gauti lygtį temperatūros ir spaudimo santykiams tų dydžių apčiuopiamiems pasikeitimams reikia šitą lygtį integruoti. Darydami tai, mes gausime: $\frac{k}{k-1} \int \frac{dT}{T} = \int \frac{dp}{p}$.

Kadangi spaudžiant dujas adiabatiškai jų spaudimas pasikeitė nuo p_0 iki p_1 o temperatūra nuo T_0 iki T_1, tai integravimas reikia atlikti šitose spaudimo ir temperatūros ribose.

$$\text{Vadinasi,} \quad \frac{k}{k-1} \int_{T_0}^{T_1} \frac{dT}{T} = \int_{P_0}^{P_1} \frac{dp}{p},$$

$$\text{arba} \ \frac{k}{k-1} \ln \frac{T_1}{T_0} = \ln \frac{p_1}{p_0}, \ \text{arba} \ \left(\frac{T_1}{T_0}\right)^k = \left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{k-1}$$

Iš anksčiau jau mūsų išvestos Poisson'o lygties $p_0 v_0^{\ k} = p_1 v_1^{\ k}$ išeina $\frac{p_1}{p_0} = \left(\frac{v_0}{v_1}\right)^k$.

Taigi pakeisdami temperatūros ir spaudimo lygtyje santykį $\frac{p_1}{p_0}$ šituo reiškiniu, mes gausime:

$$\left(\frac{T_1}{T_0}\right)^k = \left(\frac{v_0}{v_1}\right)^{k\,(k-1)} \ \text{arba} \ \frac{T_1}{T_0} = \left(\frac{v_0}{v_1}\right)^{k-1} \quad \ldots\ldots (4)$$

Šita lygtis duoda galimumo apskaityti adiabatiniam procesui temperatūros pakilimą spaudžiant dujas.

Prie šitos lygties galima prieiti kitokiu keliu. Pereinant adiabatiškai iš stovio A į stovį B (žiūr. 84 pieš.) dujų tūris sumažės nuo v_0 iki v_1 ir spaudimas padidės nuo p_0 iki p_1. Šitiems tūrio ir spaudimo pasikeitimams galioja Poisson'o lygtis $p_0 v_0^{\ k} = p_1 v_1^{\ k}$ Antra vertus, dujų pradžios stovis atitinka taškui A ant izotermos T_0, o galutinis stovis atitinka taškui B ant kitos izotermos T_1, kuri randasi augščiau kaip pirmoji, taip

kad į adiabatinį perėjimą iš stovio A į stovį B galima žiūrėti kaipo į perkėlimą dujų stovio nuo izotermos žemesnės temperatūros į izotermą augštesnės temperatūros. O šitoms abiems izotermoms galioja Boyle—Mariott'o Gay-Lussac'o dėsnis

$$p_1 v_1 = RT_1$$
$$p_0 v_0 = RT_0$$

Padalinę vieną lygtį iš kitos gausim: $\frac{p_1 v_1}{p_0 v_0} = \frac{T_1}{T_0}$. O iš Poisson'o lygties išeina: $\frac{p_1}{p_0} =$

$= \left(\frac{v_0}{v_1}\right)^k$. Taigi $\left(\frac{v_0}{v_1}\right)^k \cdot \frac{v_1}{v_0} = \frac{T_1}{T_0}$, arba $\left(\frac{v_0}{v_1}\right)^{k-1} = \frac{T_1}{T_0}$ . . . . . (4)

Šita lygtis bus mums reikalinga vėliau šilimos mašinų naudingumo koeficientui apskaityti. O čia mes pasinaudosime jąja, norėdami apskaityti temperatūros pakilimą idealinių dujų (vadinasi, tokių dujų, tarp kurių melekulų neveikia jokios kohezijos jėgos) sumažinę adiabatiškai jų tūrį dusyk, kaip rodo 84 piešinys. Šituo atveju mes turėsime $\frac{v_1}{v_0} = 2$ ir, vadinasi, $2^{k-1} = \frac{T_1}{273}$, jeigu mes dujų pradžios stovį paimsime esant ledo tirpimo temperatūrai, vadinasi, esant absolutinei temperatūrai 273° C. Taigi $T_1 = 2^{k-1} . 273$, ir logaritmuojant $\lg T_1 = (k-1) . \lg 2 + \lg 273$. Kaipo pavyzdį paimsime orą, kuris priklauso prie permanentinių dujų ir, vadinasi, mažai skiriasi nuo idealinių dujų savo savybėmis. Orui $\frac{C_p}{C_v} = k = 1{,}4$. Lg. $T_1 = 2{,}5566$ ir $T_1 = 360{,}2°$ C. Vadinasi, sumažinus adiabatiškai oro tūrį dusyk, jo absolutinė temperatūra pakils iki 360,2°, jeigu pradžios temperatūra buvo ledo tirpimo temperatūra, kitaip sakant, pakils 360,2— — 273 = 87,2° C. Mes paskui sužinosime, kad tikrenybėje — orui tas temperatūros pakilimas bus šiek tiek didesnis, todel kad sumažinant oro tūris prie išorinio darbo, prisidės dar vidujinis darbas, nes tarp oro molekulų visgi veikia šiokios tokios kohezijos jegos, kurių nėra idealinėse dujose. Prie šito dalyko mes dar grįšime vėliau.

21 §. Garinės mašinos išradimas. James Watt'as. Garinės mašinos aprašymas. Jos žemas naudingumo efektas.

Visiems žinomos garinės mašinos pagalba mes gauname iš šilimos naudingą mums darbą. Visos tokios mašinos, kurios transformuoja šilimą į mechaninį darbą, vadinasi šilimos mašinos. Toje formoje, kaip ji šiandien veikia, garinė mašina išrasta antroje pusėje XVIII šimtmečio, kuris pasižymėjo istorijoje ne tik kaipo politinių revolucijų šimtmetis, bet ir kaipo didelių išradimų šimtmetis. Žmonijos pastangos išnaudoti verdančio vandens garų šilimą kaipo jėgos šaltinį žinomos nuo seniausių laikų. Yra davinių, kad Egipto kunigai naudojosi vandens garais mechaniškam darbui gauti. Bet tik žymiai vėliau, 120 metais prieš Kristaus G., žinomas senovės fizikas Heronas, Aleksandrijoje, Egipte, padirbo aparatą, kur verdančio vandens garų pagalba galima buvo gauti žymus mechaniškas efektas. Jeigu anais laikais būtų buvęs atjaučiamas reikalas pakeisti žmogaus jėgą sunkiems darbams atlikti mechanine jėga, tai nuo Herono prietaiso būtų buvę lengva pereiti prie tikros garinės mašinos. Bet Herono išradimas kurį laiką pasiliko kaipo įdomus žaislas, kuris vėlesniais laikais buvo visiškai užmirštas.

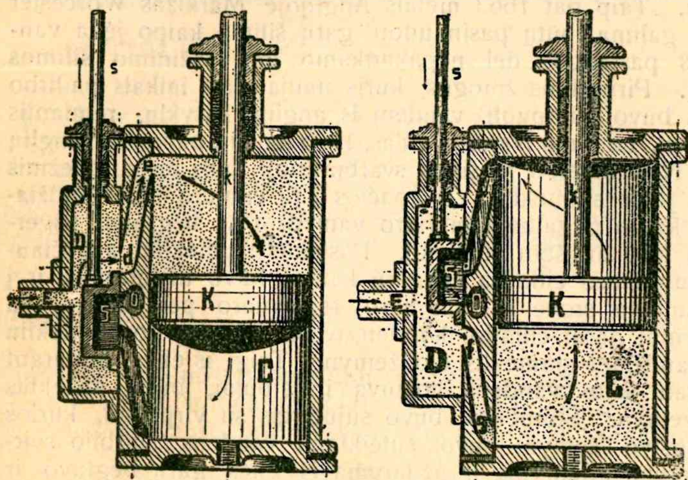
XVII šimtmečio vidury Anglijoje ėmė vystytis akmens anglių pramonė. Kasant anglis giliai po žemių labai svarbus technikos uždavinys apginti anglių kasyklas nuo požeminio vandens, kuris iš visų pusių veržiasi į kasyklų galerijas ir šachtas. Daugiausia prisieina vandenį pompuoti iš šachtų ir kelti jį augštyn, kad jis galėtų nutekėti ant žemės paviršiaus į upelius ir upes. Šitas darbas ilgą laiką buvo atliekamas žmonių rankomis ir gyvulių pajėgomis. Bet jau XVIII šimtmetyje, ypač antroje jo pusėje,

šilimos reiškinių pažinimas buvo pažengęs žymiai priekin ir buvo žinomas smarkus verdančio vandens garų spaudimas, taip kad vienam kitam ateidavo į galvą mintis sunaudoti šitą garų spaudimą mechaniškam darbui atlikti. Žinomas jau mums Denis Papin'as, Papin'o katilo išradėjas, mėgino konstruoti mašiną, kurios pagalba galima būtų buvę paversti šilimą darbu. Taip pat 1663 metais Anglijoje Markizas Worcester darė panašius mėginimus, kad galima būtų pasinaudoti garų šilima kaipo jėga vandeniui pompuoti. Bet visos tos pastangos del nepakankamo dar pažinimo šilimos procesų nedavė praktiškų vaisių. Pirmutinis žmogus, kuris naujausiais laikais padirbo aparatą, kurio pagalba galima buvo pompuoti vandenį iš anglių kasyklų, remiantis verdančio vandens garų spaudimu, tai buvo Newcomen'as, 1705 metais, paprastas anglių kasyklų darbininkas Anglijoje. Newcomen'o mašinos svarbiausioji dalis buvo geležinis cilindras su aklai vaikščiojančiu jame stumekliu. Iš apačios į tą cilindrą buvo įleidžiami verdančio vandens garai iš katilo pagalba tam tikro vamzdžio su bėgtuvu. Įsiveržiant garams, jie savo spaudimu kėlė augštyn stumeklį. Pasiekus stumekliui augščiausią galimą padėtį, bėgtuvas, jungiantis cilindrą su garų katilu, buvo uždaromas, ir į cilindrą buvo įleidžiama šalto vandens srovė iš tam tikro rezervuaro per vamzdį su vožtuvu. Veikiant šaltam vandeniui garai cilindre kondensavosi, cilindre po stumekliu darėsi tuštuma, ir atmosferai spaudžiant stumeklis ėjo žemyn. Taigi iš eilės atidarant rankomis garų bėgtuvą ir uždarant šalto vandens vožtuvą ir atbulai, buvo atsiektas stumeklio svyravimas augštyn žemyn. Stumeklis buvo sujungtas su virpstimi, kurios pagalba stumeklio judėjimai augštyn žemyn buvo suteikiami vandens siurblio svirčiai. Iš pradžios, kaip jau pasakyta, atidarymą ir uždarymą iš eilės garų bėgtuvo ir šalto vandens vožtuvo atlikdavo pastatytas prie mašinos žmogus. Vėliau Newcomen'as patobūlino savo mašiną taip, kad atidarymas ir uždarymas bėgtuvo ir vožtuvo ėjo automatiškai. Šita Newcomen'o garinė mašina, kuri veikia atmosferos spaudimu, buvo pastatyta keliose šachtose Anglijoje, bet visgi šiek tiek žymesnės praktiškos reikšmės neįgijo, pirmiausia todel, kad jos naudingumo koeficientas buvo labai žemas (vadinasi, tik labai maža dalis garų šilimos buvo čia transformuojama į darbą), nes reikalas kondensuoti garus šaltu vandeniu, norint gauti cilindre tuštumą, kiekvienu sykiu žymiai atvėsindavo ir cilindrą, ir, vadinasi, daug buvo eikvojama šilimos be jokios naudos.

Antroje XVIII šimtmečio pusėje dėka Black'o tyrinėjimų susidarė aiškesnis šilimos reiškinių vaizdas, ypač konstatavus reikšmę slaptosios garų šilimos. Remdamasis šitomis naujomis žiniomis apie šilimą anglas James Watt'as 1765 metais susidomėjo garine mašina ir užsidavė sau uždavinį padirbti tokį aparatą, kuris būtų plačiai praktikoj pritaikomas. 1769 metais James Watt'ui pasisekė konstruoti garinė mašina, kuri yra prototipas visų šių dienų šilimos mašinų ir kuri tobūlėdama įgijo žmonijos gyvenime didžiausios reikšmės. Taigi bus ne pro šalį paduoti čia keletą faktų iš to žmogaus gyvenimo.

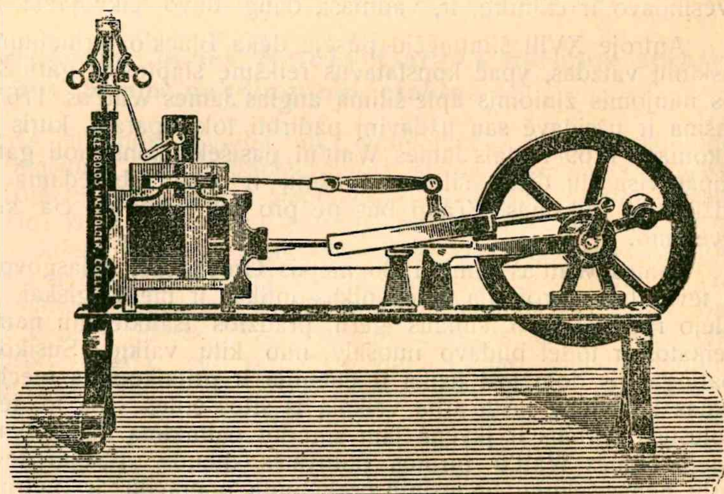
James Watt'as gimė 1736 metais Greenocke, Glasgovo miesto uoste, Škotijoje. Jo tėvas buvo profesija mechanikas-optikas ir medžiagiškai aprūpintas žmogus, todel galėjo rūpintis savo sūnaus geru pradžios išauklėjimu namie. Vaikas buvo silpnos sveikatos ir todel būdavo nuošaly nuo kitų vaikų. Susikoncentravęs savo knygose, ypatingai jis domėjosi fizika ir chemija ir pritaikomąja mechanika, taip sakant, prarydamas kiekvieną raštą arba veikalą iš šitos srites. Be to, tėvas supažindino jį su savo profesijos darbais ir įkvėpė jam smarkų palinkimą daryti įvairius eksperimentus. Taip praėjo James Watt'o pirmos jaunystės dienos. Paskui tėvas subankrutavo del kai kurių nepasisekimų finansinių prekybinių operacijų ir netrukus po to mirė. Jaunas James Watt'as pasiliko be jokių pragyvenimo šaltinių ir priverstas buvo ieškoti sau uždarbio. Jis stojo kaipo mechanikas į vieną mechaninę dirbtuvę Londone ir išbuvo ten kelerius metus, padidindamas savo prityrimą pritaikomosios mechanikos srityje. Bet rutynos darbas mechaninėje dirbtuvėje jam nepatiko, ir jis panorėjo pats įsikurti sau mechaninę dirbtuvę, kad galima būtų daryti eksperimentus įvairių mechanizmų konstrukcijos srityje. Bet tai jam nepasisekė, nes nepriklausydamas prie mechanikų cecho, arba gildijos, jis neturėjo teisės, einant Anglijos įstatymais, įkurti savo dirbtuvę. O įsigyti tai teisei reikėjo ilgus metus tarnauti kaipo gizeliui kokioje nors mechani-

nėje dirbtuvėje. James Watt'ui tai buvo nepriimtina. Po visos eilės nepasisekimų ir nusivylimų James Watt'as 1763 metais stojo į tarnybą kaipo mechanikas į Glazgovo Universitetą. Ten jis per kelerius metus laisvu laiku darė mėginimus padirbti tinkamą garinę mašiną ir pagalios jam tai pasisekė.

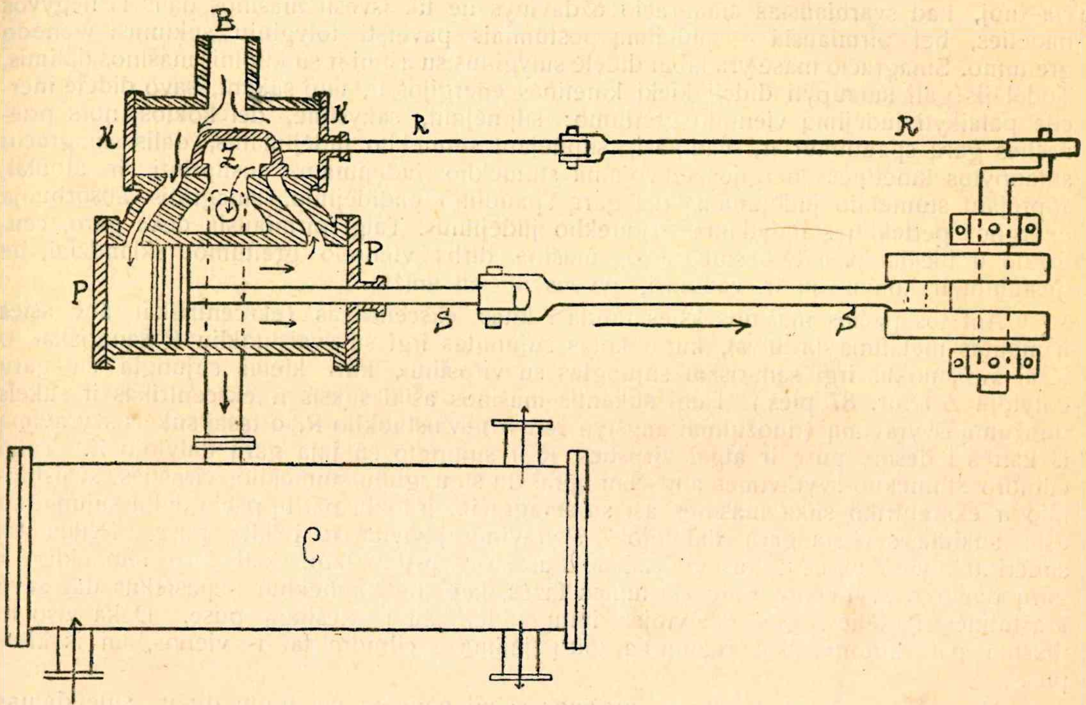


Pieš. 85.

1769 metais James Watt'as galėjo jau savo mašiną demonstruoti. Svarbiausieji patobūlinimai, Watt'o, padaryti, buvo tie, kad 1) garai buvo leidžiami iš katilo į cilindrą iš eilės iš vienos ir iš kitos pusės stumeklio taip, kad stumeklis veikia ne atmosferos spaudimu, bet garų spaudimu; 2) Watt'as įvedė atskirą dalį, būtent, kondensatorių, arba aušintuvą, atidirbusiems garams kondensuoti, taip kad nebekondensuojant garų cilindre nebebuvo be reikalo eikvojama daug šilimos; 3) įvedė garų padalinimo dėžutę su garų dalytoju, kurio judėjimai buvo atliekami automatiškai ir aplamai suteikė visai mašinai savęs reguluojančio, automatiškai veikiančio aparato pavidalą. Pirmoji Watt'o mašina laikoma šiandien Didžiosios Britanijos gamtos mokslų muziejuje Kensingtone, Londone, ir yra tikras prototipas visų šiandieninių mašinų, kurios savo pagrindinių dalių konstrukcija yra panašios į Watt'o mašiną. Mes aprašysime čia vieną iš paprasčiausių garų mašinų vėlesnių laikų, šiek tiek patobūlintą, sulyginti su Watt'o mašina. 85 piešinys atvaizduoja garų cilindro išilginį skrodį su atskiromis to cilindro dalimis. 86 piešinys duoda vaizdą sujungimo stumeklio su mašinos suktuvu ir smagračiu, lygiai kaip perdavimą suktuvo judėjimo garų dalytojui ir išcentriniam regulatoriui, ir pagaliau 87 piešinys duoda skiemenį sujungimo cilindro su garų katilu (kurio piešiny nematyti) ir su kondensatorium, arba aušintuvu, C, lygiai kaip ir sujungimo stumeklio su mašinos ašimi ir perdavimo ašies sukimosi garų dalytojui Z. Geležinis cilindras C (žiūr. 85 pieš.) arba PP (žiūr. 87 pieš.) turi aklai įdėtą stumeklį K, be taip, kad galėtų slankioti augštyn - žemyn, arba į kairę ir į dešinę pusę (87 pieš.) mažai trindamasis. Garai iš garų katilo patenka pirmiausia per vamzdį E (85 pieš.) arba vamzdį B (87 pieš.) į tam tikrą prieškamerą, vadinamąją garų padalinimo dėžutę DD_1, sujungtą su cilindru kanalais de ir fg iš viršaus ir iš apačios, arba iš kairės ir iš de-


Pieš. 86.

šinės pusės (85 ir 87 piešiniai). Toje garų padalinimo dėžėje randasi dar mažesnė dėžutė SS arba Z (85 ir 87 pieš.), kuri gali slankioti augštyn žemyn arba į kairę ir į dešinę pusę, ir slankiodama iš eilės uždaryti vieną kanalą, jungiantį cilindrą su garų padalinimo dėže ir atidaryti kitą kanalą, ir atbulai. Padėtyje garų dalytojo S, kurią atvaizduoja 85 piešinys iš kairės pusės, garai iš katilo per vamzdį E patenka į dėžę D ir iš ten per kanalą de į cilindrą iš viršaus. Esant nurodytai piešiny padėčiai S kanalas fg uždarytas ir, vadinasi, garams užkirstas kelias į apačią. Garai įsiverždami į cilindrą iš viršaus spaudžia stumeklį K ir varo jį žemyn. Tuo pačiu laiku stumeklis K išstumia jau atadirbtus garus iš apačios per kanalą gf į dėžutę S ir iš ten per kanalą O į kondensatorių. Beslenkant stumekliui K žemyn, garų dalytojas S ima kilti augštyn, ir kada stumeklis K pasiekia cilindro dugną, garų dalytojas užima padėtį, atvaizduotą iš dešinės pusės 85 piešinio. Esant naujai dalytojo S padėčiai atkirstas



Pieš. 87.

susisiekimas tarp garų padalinimo dėžės ir viršutinės cilindro dalies ir nustatytas susisiekimas tarp šitos dėžės ir apatinės cilindro dalies, nes dabar garų dalytojas uždaro kanalą de, atidarydamas tuo pačiu laiku kanalą fg. Taigi dabar iš garų padalinimo dėžės D garai veržiasi per kanalą fg į cilindrą iš apačios ir savo spaudimu varo stumeklį K augštyn. O tasai išstumia atidirbusius garus iš viršutinės cilindro dalies per kanalą ed į dėžutę S ir iš ten per kanalą O į kondensatorių. Artinantis stumekliui K prie viršutinio cilindro galo, garų dalytojas S vėl pasistumia taip, kad atidaro kanalą de ir uždaro kanalą fg, kaip parodyta iš kairės pusės 85 piešinio. Ir visas žaidimas atsikartoja.

86 ir 87 piešiniai rodo, kaip stumeklio svyravimai virsta ašies su smagračiu sukimu ir kaip nuo ašies perduodamas judėjimas garų dalytojui, taip kad sukantis ašiai jis tik svyruoja į vieną ir į kitą pusę. Su stumekliu kietai sujungta metalinė virpstis S, kuri sąnariškai, nelyginant kaip mūsų judėjimų organų dalys, sujungta su vadinamuoju švaistuokliu SS (87 pieš.). O švaistuoklio kitas galas sujungtas irgi sąnariškai su trumpu kotu metalinio skritulio, ekscentriškai užmauto ant ašies. Taigi svyruojant

stumekliui, sakysime, iš kairės į dešinę pusę ir atgal, švaistuoklis irgi svyruos, tiktai jau nuožulniai augštyn žemyn ir suks ekscentrinį skritulį, ir kadangi pastarasai kietai sujungtas su mašinos ašimi, arba velenu, tai suks ir šitą veleną. Iš 86 ir 87 piešinių aišku, kad tokiose padėtyse, kada stumeklio virpstis, švaistuoklis ir ekscentriko kotas sudaro vieną tiesią liniją, judėjimas sustos. Tai yra vadinamoji negyva padėtis. Kad tai neatsitiktų, ant mašinos veleno ašies užmaunamas masingas ratas, vadinamasis smagratis, kurio uždavinys yra taupyti kinetinę energiją. Pradėjus suktis, tas ratas įgyja tam tikrą kiekį kinetinės energijos, būtent, $1/2\ J\ \alpha^2$ (čia J reiškia smagračio inercijos momentą, o α jo kampinį greitumą), ir todel pasiekus negyvą padėtį augščiau nurodyta mašinos dalis negali sustoti ir sukasi toliau ir tuo būdu persuka ekscentriko kotą ir sujungtą su juo švaistuoklio galą žemyn arba augštyn į tokią padėtį, esant kuriai stumeklio virpstis, švaistuoklis ir ekscentriko kotas jau nebesudaro tiesiosios linijos ir, vadinasi, stumeklio svyravimas vėl gali sukti mašinos veleną - ašį. Pabrėšime čia tuoj, kad svarbiausias smagračio uždavinys ne tik išvesti mašinos dalis iš negyvos padėties, bet pirmiausia — judėjimą postūmiais paversti tolyginiu sukimusi vienodo greitumo. Smagračio masė yra labai didelė sulyginus su ašimi ir su kitomis mašinos dalimis, Todel jis gali sutaupyti didelį kiekį kinetinės energijos ir, taip sakant, savo didele inercija palaikyti judėjimą vienodo greitumo: silpnėjant, sakysime, del kokios nors priežasties garų spaudimui ir, vadinasi, silpnėjant stumeklio judėjimams, dalis smagračio sutaupytos kinetinės energijos eikvojama stumeklio judėjimams sustiprinti, ir atbulai, stiprėjant stumeklio judėjimams del garų spaudimo padidėjimo, smagratis absorbuoja energijos perteklių stabdydamas stumeklio judėjimus. Taigi pirmiausia dėka gero, centruoto ir tiksliai pastatyto smagračio, mašina dirbs vienodo greitumo, sklandžiai, be postūmių ir konvulsijų ir, vadinasi, gyvens ilgesnį amžių.

Ant tos pačios mašinos ašies randasi kitas ekscentrikas (ekscentriškai ant ašies užmautas metalinis skritulys), kurio kotas sujungtas irgi su švaistuokliu R sąnariškai, o tasai švaistuoklis irgi sąnariškai sujungtas su virpstimi, kuri kietai sujungta su garų dalytoju Z (žiūr. 87 pieš.) Taigi sukantis mašinos ašiai suksis ir ekscentrikas ir sukels nuožulnų svyravimą (nuožulniai augštyn žemyn) švaistuoklio R, o tasai sukels svyravimą iš kairės į dešinę pusę ir atgal virpsties R ir sujungto su jąja garų dalytojo Z. Taigi cilindro stumeklio svyravimas augščiau aprašytu sujungimu stumeklio, virpsties, švaistuoklio ir ekscentriko suka mašinos ašį su smagračiu, ir tokiu pat tų pačių dalių sujungimu ašies sukimasis virsta garų dalytojo Z svyravimu į vieną ir į kitą pusę. Reikia tik suderinti abudu ekscentrikus ir švaistuoklius su virpstimi taip, kad tarp stumeklio ir garų dalytojo svyravimų būtų skirtumas fazės, taip kad stumekliui nepasiekus dar savo kraštutinės padėties, garų dalytojas imtų judėti jau i priešingą pusę. Dėka viso to mašina pati automatiškai reguluoja garų įėjimą į cilindrą tai iš vienos, tai iš kitos pusės.

Nuo skriemulių, sujungtų su mašinos ašimi pagalba begalinių diržų, suteikiamas judėjimas darbo mašinoms, visokioms staklėms ir kitokiems mechanizmams. Šituo atveju begalinis diržas vadinasi transmisija. Transmisija gali būti atlikta ir kitokiais būdais, pavyzdžiui, šešternių ir krumpliaračių pagalba, arba begalinio sraigto pagalba. Dirbtuvėje, einant darbui, visuomet vienas kitas mechanizmas išjungiamas arba įjungiamas. Išjungimas kokios nors darbo mašinos verčia mašiną suktis greičiau, prijungimas stabdo jos sukimąsi. Taigi reikalinga dar turėti tam tikrą aparatą, kuris nepaisant to, kiek įjungta darbo mašinų, palaikytų vienodą mašinos greitumą, nes vienodas greitumas yra būtina sąlyga mašinos veikimo su naudingumo maksimumu per laiko maksimumą. Šitas tikslas pasiekiamas reguluojant garų pritekėjimą į garų padalinimo dėžę pagalba vadinamojo išcentrinio regulatoriaus, apie kurį jau buvo kalbama „Mechanikos skyriuje" (žiūr. 38, 39 pusl.). Tokį regulatorių ir būdą suteikti jam judėjimą rodo 86 piešinys. Regulatorius savo mufta užmautas ant statinės virpsties, kuriai suteikiamas sukimas nuo mašinos ašies begalinio šniūro pagalba, arba krumpliaračio ir šešternios pagalba. Judomoji regulatoriaus mufta laužtos svirties pagalba sujungta su vožtuvu, kuris gali uždaryti kanalą, per kurį garai įeina į garų padalinimo dėžę. Išjungus vieną kitą darbo mašiną, garinės mašinos ašis ima

suktis greičiau, vadinasi, ir regulatorius su savo rutuliais irgi ima suktis greičiau, išcentrinė jėga didėja ir jos statinė komponenta kelia augštyn rutulius, o su jais kila augštyn ir mufta, kuri svirties pagalba pridaro labiau vožtuvo skylę, pro kurią eina garai į garų padalinimo dėžę. Vadinasi, garų įtekėjimas mažėja ir kaipo išdava silpnėja stumeklio svyravimas ir mašinos sukimosi greitumas. O įjungus vieną kitą darbo mašiną, garinės mašinos greitumas mažėja (kaip visuomet, kada mašinos užkrovimas didėja), vadinasi, virpstis, ant kurios randasi regulatorius ima suktis pamažiau. Kaipo išdava išcentrinės jėgos mažėja, rutuliai ir mufta slenka žemyn ir laužtos svirties pagalba labiau atidaro vožtuvą, taip kad kiekis garų, įtekančių į garų padalinimo dėžę, didėja. Taigi stumeklio judėjimai stiprėja ir didina mašinos greitumą.

Išcentrinio regulatoriaus veikimas ir smagračio didelė inercija yra tie du veiksniai, kuriais kiekvienai mašinai palaikomas vienodas greitumas nepaisant didesnio ar mažesnio jos užkrovimo, o toksai vienodas greitumas, kaip jau anksčiau pasakyta, yra būtina gero mašinos naudojimo sąlyga.

Išrasta 1769 metais Watt'o garinė mašina įsivyravo galutinai tik XIX šimtmetyje. Ji buvo plačiausiai pritaikyta susisiekimo srityje, kaipo traukos jėga, iš pradžios sausumoj, kiek vėliau vandenyne ir darbo srityje pakeisdama gyvulių ir žmogaus fizinę jėgą. Vadinamoji mechaniška revoliucija, kurią padarė garinė mašina, sukėlė tokias atmainas žmogaus gyvenime, su kuriomis negali susilyginti visas praeitų šimtmečių progresas. Bet esminė atmaina, kurią padarė žmonijos gyvenime garinė mašina, yra ta, kad ji davė galimumą žmogui išsivaduoti nuo sunkaus fizinio darbo ir tuo pačiu laiku smarkiai pakėlė žmogaus darbo našumą, atverdama tokiu būdu naujus galimumus ir perspektyvas augštesnio ir laisvesnio gyvenimo. Praeitų amžių įvairių valstybių svarbiausias politikos uždavinys buvo — kuo daugiau pavergti žmonių, vadinas, turėti fizinės jėgos šaltinį. Garinė mašina pašalino iš žmonijos istorijos šitą stimulą, nes jai įsivyravus gamybos srityje, svarbiausias uždavinys buvo — pakeisti žmogaus ir gyvulių jėgas mechaniška jėga ir, vadinasi, atleisti, žmogaus jėgas labiau dvasios tikslams siekti. Turint visa tai omeny, suprantama, kokios augštos pagarbos reiškia visa Anglija James Watt'ui ir kaip brangus jo atminimas visam civilizuotam pasauliui, vien tik kaipo išradėjo garinės mašinos, nekalbant jau apie tai, kad jis tuo pačiu laiku buvo tikras mokslininkas ir yra padaręs visą eilę nemažos vertybės tyrinėjimų, taip šilimos srityje, taip ir kitose fizikos srityse. Westminsterio katedroje, Londone, kur palaidoti kūnai Anglijos karalių, didžiausių jos valstybinių vyrų ir didžiausių jos mokslininkų, filosofų ir poetų, pastatytas gražus paminklas Jamesui Watt'ui su gražiu parašu, kaipo vienam iš tikrųjų žmonijos geradarių. Mirė James Watt'as 1819 metais.

Nepaisant didžiausios reikšmės mūsų gyvenime, garinė mašina yra labai neekonomiška mašina. Jos naudingumo koeficientas, imant tobūliausias šių dienų šilimos mašinas, neperžengia 30%, vadinasi, tik 30% visos garų šilimos virsta naudingu darbu, o 70% pasilieka be jokio naudingo efekto. O jeigu imti domėn ne visą garų šilimą, bet visą tą šilimą, kurią mes gauname degindami kuro medžiagą, pavyzdžiui, akmens anglį, tai tas naudingumo koeficientas bus dar mažesnis, būtent, tobūliausių šių dienų mašinų bus apie 15%. Vadinasi, iš 7500 kalorijų (didžiųjų), kurios gaunamos sudeginus 1 kilogramą geros akmens anglies, tik 1125 kalorijos virsta naudingu darbu garinėje mašinoje. O likusioji didžioji dalis išsibarsto, taip sakant, radiacijos, konvekcijos ir laidumo keliu, o pačioje mašinoje eikvojama įvairiems trynimams nugalėti. O Watt'o išrastos mašinos naudingumo koeficientas buvo dar žemesnis, būtent, tik daugiausia apie 10% visos garų šilimos galima buvo paversti darbu, arba daugiausia apie 5% visos kuro medžiagos šilimos. Nuo pat išradimo garinės mašinos uždavinys pakelti jos naudingumo koeficientą rūpėjo inžinieriams ir technikams. Bet tasai pakelti pasisekė tiktai tada, kada jaunas genialus prancūzas Sadi Carnot'as išsprendė teoretiškai klausimą apie naudingumo maksimumą, kuris gali būti pasiektas šilimos mašinų pagalba. Apie tai mes kalbėsime kitame paragrafe.

22 §. Sadi Carnot'o teoretiški tyrinėjimai šilimos mašinų problemos. Apverčiamieji ir neapverčiamieji gamtos procesai. Idealinė šilimos mašina. Carnot'o ciklas. Idealinės šilimos mašinos naudingumo koeficientas. Carnot'o teorema. Kelvino absolutinės temperatūros skalė.

Sadi Carnot'ui buvo lemta padėti tvirtus pagrindus šilimos mašinų mokslui. Be to, jo tyrinėjimų vaisiai šilimos mašinų srityje buvo tie, kad jo metodas buvo labai plačiai, pritaikytas sprendžiant įvairias fiziškas chemiškas problemas pavidalu vadinamojo antrojo termodinamikos dėsnio. Jo tyrinėjimai šilimos mašinų srityje išdėstyti nedidelėje brošiūroje, iš viso tik 70 puslapių, kurios pavadinimas toks: „Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance par S. Carnot, Ancien élève de l'école polytechnique." (Samprotavimai apie ugnies judomąją pajėgą ir apie mašinas, tinkamas tai pajėgai išvystyti, S. Carnot,as, buvęs politechnikos mokinys.) Carnot'as jaunas mirė ir be šito veikalo paliko dar kelis nedidelius straipsnius, daugiausia liečiančius šilimos sritį. Bet tie jo trumpi raštai turi neperinamos vertės fizikai ir atstoja didžiausius tomus pusėtinų tyrinėtojų. Taigi ir apie šito žmogaus gyvenimą pravartu bus pasakyti keli žodžiai.

Sadi Carnot'as gimė 1796 metais birželio 1 d. Paryžiuje, sūnus garsaus didžiosios Prancūzų revolucijos generolo inžinieriaus Leonardo Carnot'o. Tėvas buvo bendrai plačiai išauklėtas žmogus ir, be to, buvo geras specialistas karinės technikos srityje ir puikiausias organizatorius. Dėka jo organizacinio gabumo ir energijos revolucinė Prancūzijos valdžia sugebėjo ne tik nuveikti visus Prancūzijos priešus, bet ir uždegti laisvės ugnį atsilikusiuose Europos kraštuose. Vėliau Leonardas Carnot'as buvo karo ministeriu prie Imperatoriaus Napoleono I-jo, ir kai kurie rimtai mano, kad jo pasakiški pasisekimai karo laukuose buvo galimi ne tik dėka jo paties genialumo, bet ir dėka jo ministerio nepaprasto gabumo. Prie visa to Leonardas Carnot'as buvo labai paprastas, tiesus ir nuoširdus žmogus. Šituos jo intelektualinius ir moralinius gabumus paveldėjo ir jo sūnus Sadi. 1812 metais Sadi Carnot'as įstojo į Paryžiaus Politechniką, bet nebaigęs ten mokslo, kaip tai dažnai atsitinka su ypatingai gabiais žmonėmis, išstojo iš ten ir įstojo į kariuomenę kaipo jaunesnysis leitenantas. Būdamas kariuomenėje jis turėjo progos praleisti kurį laiką Vokietijoje ir visą savo laisvą laiką nuo tarnybos skyrė moksliškoms studijoms. 1824 metais jis paskelbė augščiau nurodytą savo veikalą, kaipo vaisių savo keletos metų studijų šilimos procesų ir šilimos mašinų. 1832 metų rugpjūčio mėn. jis užsikrėtė cholera ir rugpjūčio 24 mirė, būdamas tik 36 metų amžiaus. Jo reikšmė mokslo srityje bus aiški iš to, kas čia bus vėliau pasakyta. Del charakteristikos jo moralinės fizionomijos paduosime čia du faktus. Laikotarpy nuo 1800 iki 1804 metų tėvas, važinėdamas iš Paryžiaus į Malmaisoną, Napoleono vasarnamį, su pranešimais Napoleonui, dažnai pasiimdavo su savimi savo mažą sūnų. Napoleonas labai mėgdavo mažą Carnot'ą. Vieną sykį Napoleonas, tėvas ir mažas Carnot'as vaikščiojo Trianono sodne ir pamatė Napoleono žmoną su kitomis poniomis plaukiojant valtimi tvenkinyje. Napoleonas, erzindamas jas, ėmė blaškyti į jas akmeniukus. Mažas Carnot'as, suspaudęs savo kumščius, pašoko prie jo ir suriko: „Pone pirmasai Konsule, nustok kiauliškai elgtis, jei ne, tai aš priverstas būsiu tave pamokyti."

1831 metais vadinamosios Liepos revolucijos metu Carnot'as susimąstęs ėjo gatve, kurioje buvo didelė minia žmonių. Štai milžiniško ūgio girtas grenadierius pasirodė raitas gatvėje ir ėmė švaistyti kardu į visas puses. Minia panikoje ėmė blaškytis, ir niekas nedrįso girto kareivio sustabdyti. Pastebėjęs tai Carnot'as šoko į vidurį gatvės, pagavo už apynasrio arklį ir, pagriebęs už kojos, nuvilko grenadierių žemėn. Minia ėmė entuziastiškai ploti, bet Carnot'as nieko nesakydamas ir vėl užsimąstęs ėjo savo keliu toliau. Tai va koks žmogus buvo Sadi Carnot'as.

Susidomėjęs šilimos mašinomis ir ieškodamas priežasčių tų mašinų žemo naudingumo koeficiento, Sadi Carnot'as užsidavė sau uždavinį ištirti, ar neglūdi tos priežastys ne tiek mašinų konstrukcijoje, kiek pačios šilimos prigimtyje ta prasme, kad nėra ir

negali būti tokio šilimos proceso, kuriame visa šilima virstų darbu, taip kaip darbas visuomet visas be jokių likučių virsta šilima. Sadi Carnot'as stovėjo dar ant pagrindo substancinės šilimos teorijos, kuri mūsų išdėstyta 18 §, vadinasi, žiūrėjo į šilimą kaipo į skystą medžiagą, kuri gali tekėti iš vieno kūno į kitą kūną. Taigi duodamas sau klausimą, o kokiomis sąlygomis šilima atlieka darbą, jis ieškojo analogijos hidrodinamikos srityje. Kaip vandens masės atlieka darbą krisdamos nuo augštesnės vietos į žemesnę vietą, taip ir šilima, tekėdama nuo kūno augštesnės temperatūros į kūną žemesnės temperatūros, atlieka darbą, nes su šilimos perėjimu nuo vieno kūno į kitą kūną yra surištas tūrio kitėjimas, o kūnų tūrio kitėjimai visuomet yra surišti su išoriniu darbu. Kaip vandens darbingumas pareina ne tik nuo vandens masės, bet ir nuo augščio, nuo kurio nupuola vanduo, arba, tiksliau sakant, nuo augščių skirtumo (skirtumo tarp augščiausios ir žemiausios tekančio vandens vietos), taip ir šilimos darbingumas pareina ne tik nuo šilimos kiekio, bet ir nuo temperatūrų skirtumo, ir bus juo didesnis, juo didesnis bus temperatūrų skirtumas. Kaip vandens masė savaime teka nuo augštesnės vietos į žemesnę ir tegali būti pakelta į augštesnę vietą tik išorinės jėgos pagalba, taip ir šilima savaime teka tik nuo augštesnės temperatūros į žemesnę ir tegali būti pakelta į augštesnę temperatūrą tik išorinės jėgos pagalba, vadinasi, tik atliekant iš oro tam tikrą darbą. Jeigu ne taip būtų, jeigu šilima savaime galėtų kilti į augštesnes temperatūras, tad galima būtų pastatyti tokią mašiną, kuri semtų šilimą iš aplinkos vienodos temperatūros kūnų ir verstų tą šilimą darbu. Tokiu atveju galima būtų plaukioti vandenynu semiant šilimą iš okeano, o tokios šilimos begalinė daugybė. Taip pat be galo daug šilimos atmosferoje ir, vadinasi, galima būtų aprūpinti aeroplaną tokia mašina, kuri semtų šitą šilimą iš oro, verstų ją darbu ir varytų aeroplaną. Tokia mašina irgi būtų savo rūšies Perpetuum Mobile, bet skirtųsi nuo anksčiau mūsų aprašyto Perpetuum Mobile tuo, kad ji nekurtų energijos iš nieko, bet naudotų šilimos energiją vienodai temperuotų kūnų. Tai būtų antros rūšies Perpetuum Mobile. Carnot'o nuomone, toksai Perpetuum Mobile negalimas daiktas ir, vadinasi, negalimas daiktas visą kūnų sistemos šilimą paversti mechanišku darbu.

Priėjęs prie šitos išvados, Carnot'as klausia savęs, o kokiomis sąlygomis galima gauti maksimumas darbo iš šilimos? Jau anksčiau pasakyta, kad aplamai iš šilimos galima gauti darbą tik tada, kada šilima savaime slenka nuo kūnų augštesnės temperatūros į kūnus žemesnės temperatūros, o darbas prie to tekėjimo yra išdava kūnų tūrio skėtimosi nuo šilimos. Taigi maksimumas darbo iš šilimos galima gauti tik tada, kada perėjimas šilimos nuo augštesnės temperatūros į žemesnę temperatūrą bus išeikvotas išimtinai kūnų tūriui padidinti ir bus pašalinti visi nuostoliai šilimos laidumo keliu, radiacijos keliu ir konvekcijos keliu ir bus pašalintos trynimo jėgos, kurios eikvoja kinetinę energiją ir verčia ją šilima. Apibendrindamas šitas sąlygas Carnot'as daro išvadą, kad tiktai apverčiamas šilimos procesas gali duoti darbo maksimumą. O apverčiamu procesu vadinasi tokia eilė fiziškų-chemiškų operacijų, kuria ne tik atstato pirmykštį kūno stovį, bet ir atkartoja iš eilės visas tarpines padėtis, per kurias perėjo kūnas, pereidamas iš vieno stovio į naują stovį, varant visą procesą priešinga prasme. Jeigu pradėjus nuo tam tikro kūno stovio jis pereis per eilę stovių ir grįš į pirmykštį stovį, tai mes turėsime vadinamąjį ciklą, arba ciklinį procesą. Tasai procesas gali būti apverčiamas ir neapverčiamas. Neapverčiamas jis bus tada, kada grįžtant prie pirmykštės padėties neatsikartos visos tos kūno padėtys, kuriose jis buvo tolinantis nuo savo pirmykštės padėties. O jeigu ciklinis procesas susideda iš eilės fiziškų-chemiškų atmainų, kurios pirmoje proceso dalyje veikia viena prasme, o antroje proceso dalyje veikia kita prasme, atkartodamos tačiau su visomis smulkmenomis visas tas padėtis, kuriose buvo kūnas pirmos proceso pusės laikotarpy, ir grąžina jį prie pirmykščio stovio, tai mes turėsime vadinamąjį apverčiamą ciklinį procesą. Tiktai tada, kada šilimos mašina dirba kaipo apverčiamasis ciklinis procesas, ji tegali paversti šilimos maksimumą naudingu darbu.

O kuriomis sąlygomis šilimos procesas bus apverčiamasis procesas? Pirmiausia konstatuosime, kad jeigu šilimos procesas yra surištas su trynimo jėga, tai toksai procesas bus neapverčiamas, nes nėra galimumo, kad šilima, kuri susidaro iš darbo,

atlikto prieš trynimo jėgas, galima būtų vėl paversti tuo pačiu darbo kiekiu, nes varant procesą atgal veikia ta pati trynimo jėga. Vadinasi, reikės atlikti tas pats darbas, kuris vėl virs šilima. Vadinasi, šilimos procesas, arba šilimos mašina, kuri veikia su trynimu, duos mažiau darbo tiek, kiek bus to darbo išeikvota trynimo jėgoms nugalėti. Be to, šilima, sudaryta trynimo darbu, bus žemesnės temperatūros šilima negu ta šilima, kuri buvo šaltiniu šilimos mašinos atlikto darbo. Vadinasi, grąžinant šitą trynimo šilimą prie jos pirmykštės augštesnės temperatūros reiks atlikti tam tikras darbas. Toliau, jeigu šilimos procesas yra surištas su šilimos išsiskleidimu, neatliekant tai šilimai darbo, tai toksai procesas bus irgi neapverčiamas. Kaip mes jau žinome, šilima sklinda radiacijos, konvekcijos ir laidumo keliais. Visais tais atvejais perėjimas šilimos nuo augštesnės į žemesnę temperatūrą ne visuomet surištas su kūnų tūrio kitėjimais ir todel ne visuomet yra surištas su darbo atlikimu. Antra vertus, šilimos, kuri sklinda materialinių kūnų sistemoje radiacijos, konvekcijos ir laidumo keliu, visuomet nupuola temperatūra, ir todel norint grąžinti tokią šilimą prie pirmykščio temperatūros laipsnio, reikalinga atlikti tam tikras darbas. Taigi išeina, kad slenkant šilimai augščiau nurodytais būdais nuo augštesnės temperatūros į žemesnę jeigu ir bus atliktas darbas, tai tas darbas visuomet bus mažesnis kaip darbas, reikalingas grąžinti šilimai prie pirmykštės temperatūros. Vadinasi, šilimos procesas, surištas su šilimos skleidimu, be tūrio kitimo, bus neapverčiamasis procesas.

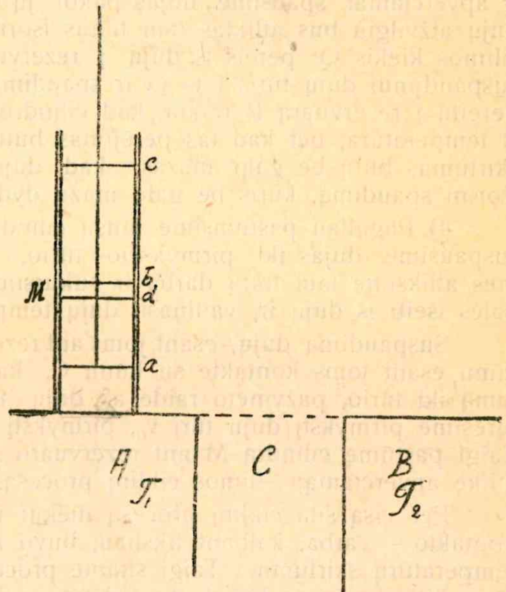
Kad radiacijos procesas yra neapverčiamasis procesas savaime aišku, nes radiacijos keliu šilima sklinda tuštumoje, erdvėje, kurioje fiziniai kūnai labai retai išbarstyti. Bet ir šilimos laidumas yra neapverčiamasis procesas, nes esant betarpiam kontakte nevienodai temperuotiems kūnams tokių kūnų temperatūra išsilygina, vadinasi, tam tikras kiekis šilimos pereina nuo augštesnės į žemesnę temperatūrą neatliekant tam tikro darbo. Taip, pavyzdžiui, krosnies liepsnos temperatūra yra žymiai augštesnė kaip katilo temperatūra ir, vadinasi, didelis šilimos kiekis pereina nuo liepsnos katilo medžiagai, bet toksai perėjimas nesurištas su darbo atlikimu. Tas pats reikia pasakyti apie šilimos perėjimą nuo katilo medžiagos į vandenį. Tarp katilo paviršiaus ir vandens irgi yra žymus temperatūrų skirtumas ir, vadinasi, šilima pereina nuo karštesnių katilo šonų į šaltesnį vandenį. Bet ir šitas perėjimas darbo gavimo atžvilgiu yra grynas nuostolis. Pagaliau šilima pereina nuo karštesnių vandens sluogsnių, kurie randasi betarpiame kontakte su katilo šonais, į šaltesnius vandens sluogsnius daugiausia konvekcijos keliu. Aišku, kad ir šilimos konvekciją darbo atžvilgiu reikia laikyti nuostoliu.

Taigi, kad šilimos mašina duotų maksimumą darbo, paverstų maksimumą šilimos naudingu darbu, reikia, kad tokia mašina dirbtų apverčiamai, būtų apverčiama šilimos mašina. Vadinasi, reikia, kad tokia mašina dirbtų be trynimo ir kad joje neturėtų vietos šilimos skleidimas radiacijos, konvekcijos ir laidumo keliais.

Bet fiziniame pasaulyje nėra tokių procesų, kurie eitų be trynimo ir kuriuose galima būtų visiškai eleminuoti šilimos radiaciją, konvekciją ir laidumą. Vadinasi, visi fizinio pasaulio procesai yra neapverčiamieji procesai ir visos konkrečios šilimos mašinos yra neapverčiamos mašinos. Bet spręsdami įvairius uždavinius realiniams fizikos procesams, mes labai dažnai abstraguojame nuo tų ar kitų fizinio proceso konkrečių savybių, statydami klausimą, koksai bus to proceso efektas jo suprastinta abstraktine forma. Fizika aplamai nustato savo bendrus dėsnius šituo abstrakcijos keliu, ir jau taikindama tuos abstraktinius dėsnius realiniams procesams nustato reikalingas pataisas. Išaiškinęs, kad iš esmės nėra gamtoje galimumo visą fizinio kūno šilimą paversti darbu ir pastatęs klausimą, o koksai tos šilimos maksimumas gali būti paverstas darbu, S. Carnot'as įsivaizdavo sau idealinę šilimos mašiną jos paprasčiausia forma, su kuria galima būtų atlikti apverčiamasis ciklas. Svarbiausioji kiekvienos šilimos mašinos dalis yra cilindras su stumekliu, kuriame kinetinė garų, arba dujų, energija virsta mechanišku stumeklio judėjimu. Be to, kiekviena šilimos mašina turi išteklių šilimos augštos temperatūros (garų katilas) ir rezervuarą šilimos žemos tamperatūros (aušintuvas, arba kondensatorius). Taigi kaipo medžiagą, tarpininkaujančią šilimos perėjimui į darbą,

S. Carnot'as ima tobūlas, arba idealines, dujas, kurios tiksliai seka Boyle-Mariott'o—Gay-Lussac'o dėsniu, vadinasi, tokias dujas, kurioms skečiantis vidujinis darbas, atliktas prieš kohezijos jėgas, yra nulis, nes tarp idealinių dujų molekulų neveikia jokios kohezijos jėgos. Tokias dujas S. Carnot'as talpina cilindre iš absoliučiai izoliuojančios medžiagos, aprūpinęs tą cilindrą dugnu iš absolutaus laidininko. Be to, Carnot'o stumeklis slankioja tame cilindre be jokio trynimo.

Kaipo šaltinį šilimos augštesnės temperatūros jis įsivaizduoja sau labai didelį šilimos rezervuarą su dideliu šilimos kiekiu, taip kad išsėmus iš šito rezervuaro tam tikrą kiekį šilimos, jo temperatūra nupuola taip mažai, jog konstatuoti tai termometru negalima. Kaipo aušintuvą jis ima kitą irgi labai didelį šilimos rezervuarą žemesnės temperatūros, kad, suteikus tam rezervuarui tam tikrą šilimos kiekį, jo temperatūra pakiltų taip mažai, jog tai sunku būtų konstatuoti termometru. Tarp šitų dviejų šilimos rezervuarų betarpiame kontakte su jais randasi kūnas iš absoliučiai izoliuojančios medžiagos. Tokios S. Carnot'o mašinos skiemenį atvaizduoja 88 piešinys. M čia reiškia cilindrą su stumekliu a, kuriame randasi, sakysime, gramomolekula idealinių dujų. A yra didelis rezervuaras šilimos absolutinės temperatūros T_1, B kitas didelis šilimos rezervuaras absolutinės temperatūros T_2 ir C—kūnas iš absoliučiai izoliuojančios medžiagos (aišku, kad M atatinka čia garinės mašinos cilindrui, A — garinės mašinos katilui ir B — aušintuvui).



Pieš. 88.

Atliksime dabar, sekdami S. Carnot'u, su šita jo idealine mašina tokį apverčiamąjį procesą:

1) Leisime dujoms išsiplėsti cilindre nuo a iki b, esant cilindrui kontakte su šilimos rezervuaru A augštesnės temperatūros T_1. Skečiantis dujų tūris padidės nuo v_0 iki v_1, jų spaudimas nupuls nuo p_0 iki p_1. Skečiantis iš rezervuaro A tam tikras šilimos kiekis, sakysime, Q_1 pereis į cilindrą ir tuo pačiu laiku bus atliktas tam tikras darbas A_1 prieš atmosferą. Kadangi dujos čia skečiasi kontakte su šilimos rezervuaru, tai išeikvota dujų šilima darbui atlikti bus papildyta šilima iš rezervuaro. Dujų temperatūra nepasikeis, vadinasi, čia mes turėsime izoterminį dujų skėtimąsi. Bet kad procesas būtų pilnai izoterminis ir kad šilimos perėjimas būtų visą laiką surištas su darbo atlikimu, kad nebūtų nė mažiausio šilimos kiekio perėjimo neatliekant darbo, kitaip sakant, kad šitas izoterminis procesas būtų apverčiamasis, reikia, kad skirtumas temperatūrų šilimos rezervuaro A ir cilindro M būtų be galo mažas. Tiksliai kalbant, reikia, kad tas skirtumas būtų nulis, vadinasi, kad pereinant šilimai iš rezervuaro A į cilindrą M mes neatsitolintumėm nuo temperatūrinės pusiausvyros. Bet tada nebus šilimos perėjimo. Taigi kad visgi šilimos perėjimas vyktų ir, vadinasi, kad dujos skėstųsi kuo mažiau tolindamosi nuo apverčiamojo proceso sąlygų, mes ir priimame, kad dujų absolutinė temperatūra be galo mažu dydžiu būtų žemesnė, kaip rezervuaro A temperatūra. Tad perėjimas šilimos bus, bet tęsis be galo ilgai. Praktikoje tokia mašina neturėtų jokios vertės, bet teorijoje ji kaip tik reikalinga, nes mes čia turėsime tokį pat procesą kaip ir praktikoje, tiktai atsitolindami per visą proceso laiką be galo mažai nuo temperatūrinės pusiausvyros, ir, vadinasi, turėdami reikalo su procesu, kuris savo eiga labai mažai skirsis nuo apverčiamojo proceso. Dalykui paaiškinti pridursime tik čia dar, kad esant galutiniam skirtumui temperatūrų cilindro ir rezervuaro skėtimasis eis pergreitai, išeikvota išoriniam darbui šilima nebus pakankamai papildoma tekančia iš

rezevuaro silima ir, vadinasi, mes nebeturėsime izoterminio proceso. Cilindro dugnas, kaip jau anksčiau pasakyta, padirbtas iš absolutinio laidininko. Tasai reikalinga tam, kad dugnas, taip sakant, akimirksnyje perimtų šilimą iš rezervuaro ir perduotų ją dujoms, vadinasi, akimirksnyje vestų prie temperatūrų išlyginimo, nes kitaip mes turėtume šilimos perėjimą be ekvivalento darbo atlikimo.

2) Atlikę tai, pastumsime mūsų cilindrą ant kūno C ir duosime čia dujoms toliau skėstis, pakol stumeklis pasieks padėtį c. Kadangi kūnas C yra absolutinis izolatorius ir cilindras M irgi padirbtas iš absolutinio izolatoriaus, tai skečiantis dujoms, esant cilindrui M kontakte su kūnu C, stumeklio darbas prieš atmosferą bus atliktas atidavus dujoms dalį šilimos tam darbui atlikti. Vadinasi, dujų temperatūra nupuls, ir mes čia turėsime adiabatinį dujų skėtimąsi. Leisime dujoms adiabatiškai išsiskėsti tiek, kad jų temperatūra nupultų nuo T_1 iki T_2. Tegu jų tūris padidės nuo v_1 iki v_2 ir spaudimas sumažės nuo p_1 iki p_2.

3) Pastumsime dabar mūsų cilindrą M ant šilimos rezervuaro B ir izotermiškai ir apverčiamai spausime dujas pakol jų tūris sumažės iki d. Tokiomis sąlygomis dujų atžvilgiu bus atliktas tam tikras išorinis darbas A_2, ir ekvivalentingas tam darbui šilimos kiekis Q_2 pereis iš dujų į rezervuarą B. Tegu pasibaigus tam izoterminiam suspaudimui dujų tūris bus v_3 ir spaudimas p_3. Kad ir čia visa darbo sudaryta šilima pereitų į rezervuarą B reikia, kad cilindro temperatūra būtų augštesnė kaip rezervuaro B temperatūra, bet kad tas perėjimas būtų apverčiamasis reikia ir čia, kad temperatūrų skirtumas būtų be galo mažas, kad dujos būtų spaudžiamos labai pamaži, taikinant išorinį spaudimą, kuris be galo mažu dydžiu yra didesnis kaip dujų spaudimas.

4) Pagaliau pastumsime mūsų cilindrą nuo b vėl ant kūno C ir adiabatiškai vėl suspausime dujas iki pirmykščio tūrio, pažymėto raide a. Spausdami adiabatiškai, mes atliksime tam tikrą darbą ir sukursime ekvivalentingą šilimos kiekį, kuris čia negalės išeiti iš dujų ir, vadinasi, dujų temperatūra turės atitinkamai pakilti.

Suspaudimą dujų, esant joms ant rezervuaro B, galima taip suderinti su jų suspaudimu esant joms kontakte su kūnų C, kad atliekant šitą paskutinį adiabatinį suspaudimą iki tūrio, pažymėto raide a, dujų temperatūra pakiltų vėl iki T_1. Tad mes vėl turėsime pirmykštį dujų tūrį v_0, pirmykštį jų spaudimą p_0 ir pirmykštę temperatūrą T_1. Taigi pastūmę cilindrą M ant rezervuaro A, mes grįšime prie pirmykščio dujų stovio, atlikę apverčiamąjį šilimos ciklinį procesą.

Per visą šitą ciklinį procesą niekur nebuvo dviejų nevienodos temperatūros kūnų kontakto — arba, kalbant tiksliau, buvo kontaktas tarp dviejų kūnų su be galo mažu temperatūrų skirtumu. Taigi šitame procese visi temperatūros kitimai buvo surišti su tūrio kitimais ir, vadinasi, visi šilimos judėjimai buvo surišti su darbo atlikimu (teigiamo arba neigiamo darbo). Todel šitas procesas kaip tik turi duoti maksimumą darbo iš tam tikro šilimos kiekio.

Kokia šito proceso išdava?

1) Esant augštesnei absolutinei temperatūrai T_1 dujoms suteiktas šilimos kiekis Q_1 ir dujos atliko darbą prieš atmosferą A_1;

2) Išsiskėsdamos adiabatiškai dujos atliko dar darbą A' išeikvodamos tam darbui šilimą Q', nupuolus del tos priežasties jų temperatūrai nuo T_1 iki T_2;

3) Spaudžiant dujas buvo atliktas darbas A_2 dujų atžvilgiu, ir jos atidavė kondensatoriui esant žemesnei temperatūrai T_2 šilimos kiekį Q_2;

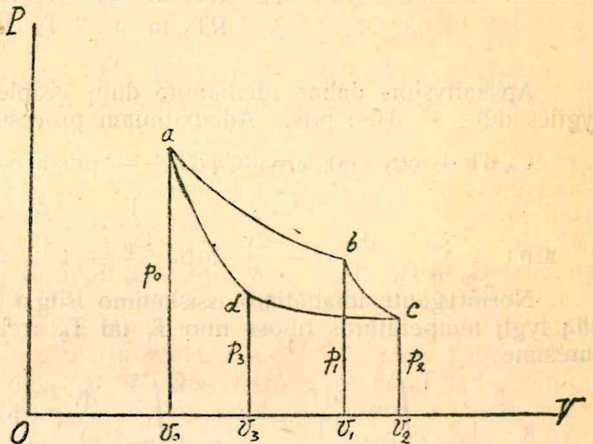
4) Pagaliau spaudžiant dujas toliau adiabatiškai, jų atžvilgiu buvo atliktas darbas A'', sudarant tokiu būdu dujose šilimą Q'' ir pakeliant jų temperatūrą nuo T_2 iki T_1.

Taigi visas šitame procese dujų atliktas darbas prieš atmosferą $(A_1 + A')$, o dujų atžvilgiu atliktas darbas $(A_2 + A'')$. Vadinasi, pelnas išorinio naudingo darbo atžvilgiu arba teigiamas dujų atliktas darbas bus $(A_1 + A') - (A_2 + A'')$; šiam darbui atlikti išeikvota $Q_1 - Q_2$ šilimos. Vadinasi, einant energijos tvarumo dėsniu, arba pirmuoju termodinamikos dėsniu $(Q_1 - Q_2)\,J$*) $= (A_1 + A') - (A_2 + A'')$. Adiabatinio proceso išnyku-

*) J = mechaninis šilimos ekvivalentas.

sios šilimos kiekis Q' ir sukurtos šilimos Q" figūruoja šitoje lygtyje tų šilimų darbo ekvivalentų A' ir A" pavidalu.

Kad surastume šitą naudingą dujų atliktą darbą, išreikšime mūsų ciklinio proceso atskirus etapus grafiškai, atidėdami ant abscisos tūrius, o ordinatomis atitinkamus tiems tūriams spaudimus. Mes gausime tokiu būdu ciklinio proceso figūrą, kurią atvaizduoja 89 piešinys. Dujų pradžios stovis pažymėtas raide a. Tam stoviui atitinka tūris v_0, slėgimas p_0 ir absolutinė temperatūrą T_1. Izoterminis dujų išsiskėtimas atvaizduotas čia tiesiakampinės lygiašonės hiperbolos dalimi ab. Naujam stoviui b atitinka didesnis tūris v_1, mažesnis spaudimas p_1 ir ta pati temperatūra T_1. Toliau eina adiabatinis dujų išsiskėtimas išilgai stačiau puolančios kreivosios bc. Pasiektam stoviui c atitinka tūris v_2, (didesnis kaip v_1) slėgimas p_2 (mažesnis kaip p_1) ir temperatūra T_2, žemesnė kaip T_1. Toliau mes turime izoterminį dujų suspaudimą išilgai kreivosios cd, pasiekdami stovį d, kuriam atitinka tūris $v_3 < v_2$, spaudimas $p_3 > p_1$ ir temperatūra T_2. Pagaliau eina adiabatinis dujų suspaudimas išilgai stačiau kįlančios kreivosios dc ir pasiekiamas pirmykštis stovis su tūriu v_0, slėgimu p_0 ir temperatūra T_1. Iš figūros 89 piešinio aišku, kad dujų prieš atmosferą atliktas darbas gali būti išreikštas plotu v_0 a b c v_2, o dujoms suteiktas, arba jų atžvilgiu atliktas darbas bus išreikštas plotu c v_2 v_3 d a. Vadinasi, grynas pelnas darbo atžvilgiu čia bus išreikštas keturkampio plotu abcd. Taigi išreikšdami ciklinio proceso davinius grafiškai, mes turime galimumo apskaityti gautą atliekant tokį procesą darbą.



Pieš. 89.

Bet šitą darbą mes galime apskaityti išeidami iš žinomos jau mums Clapeyron'o lygties $dQ = C_v\, dT + pdv$; šią lygtį mes gauname pritaikydami pirmąjį termodinamikos dėsnį dujų šilimos stovio atmainoms. Čia dQ reiškia labai mažą šilimos kiekį suteiktą dujoms, dT reiškia labai mažą temperatūros pakilimą, dv — labai mažą tūrio padidėjimą, p spaudimą ir C_v — molekulinę dujų šilimą esant nuolatiniam tūriui (reikia atsiminti, kad mes čia dirbame su dujų gramomolekula). Taigi $C_v \cdot dT$ reiškia šilimą, išeikvotą temperatūros pakilimui, pdv reiškia dujų atliktą darbą. Einant energijos tvarumo dėsniu suma tos šilimos ir to darbo turi būti lygi visai suteiktai dujoms šilimai.

Izoterminiam procesui $dT = 0$ ir, vadinasi, mūsų lygtis tokiam procesui bus $dQ = pdv$. Iš $pv = RT$ išeina $p = \frac{RT}{v}$. Taigi pakeitę p šituo reiškiniu, mes gausime $dQ = RT\frac{dv}{v}$. Kairioji šitos lygties pusė reiškia dujoms suteiktą šilimą, o dešinioji — dujų atliktą prieš atmosferą darbą. Vadinasi, norint surasti atliktą prieš atmosferą darbą, išsiplėtus dujoms nuo tūrio v_0 iki tūrio v_1 (89 pieš.) reikia šitą lygtį integruoti ribose nuo v_0 iki v_1. Taigi $\int dQ = RT \int_{v_0}^{v_1} \frac{dv}{v}$.

Skečiantis dujoms nuo tūrio v_0 iki tūrio v_1, joms suteikta iš rezervuaro A kiekis šilimos Q_1 esant absolutinei temperatūrai T_1. Vadinasi,

$$\int_0^{Q_1} dQ = Q_1 \text{ ir } Q_1 = RT_1 \ln \frac{v_1}{v_0} \text{ (1), nes } RT_1 \int_{v_0}^{v_1} \frac{dv}{v} = RT_1 \ln. \frac{v_1}{v_0}.$$

Spaudžiant dujas izotermiškai išilgai kreivosios cd T_2 temperatūra, jų atžvilgiu bus atliktas darbas, arba dujų bus atliktas neigiamas darbas, kuris bus lygus einant augščiau nurodyta lygtimi

$$RT_2 \int_{V_3}^{V_2} \frac{dv}{v} = RT_2 \ln \frac{V_2}{V_3}.$$

Tuo pačiu laiku per visą dujų izoterminį suspaudimą atiduota rezervuarui B šilima bus

$$\int_0^{Q_2} dQ = Q_2.$$

Taigi $Q_2 = RT_2 \ln \frac{V_2}{V_3}$ (2), einant pirmuoju termodinamikos dėsniu.

Padalinę lygtį (1) iš (2), gausime:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{RT_1 \ln \frac{v_1}{v_0}}{RT_2 \ln \frac{v_2}{v_3}} = \frac{T_1 \ln \frac{v_1}{v_0}}{T_2 \ln \frac{v_2}{v_3}} \; \ldots\ldots (3)$$

Apskaitysime dabar adiabatinio dujų išsiplėtimo ir suspaudimo vaisius pagalba lygties $dQ = C_v dT + pdv$. Adiabatiniam procesui $dQ = 0$ ir, vadinasi,

$$C_v dT + pdv = 0, \text{ arba } C_v dT = -pdv = -RT\frac{dv}{v}, \text{ arba } \frac{C_v}{R}\cdot\frac{dT}{T} = -\frac{dv}{v},$$

$$\text{arba } \frac{C_v}{C_p - C_v}\,\frac{dT}{T} = -\frac{dv}{v}, \text{ arba } \frac{1}{\frac{C_p}{C_v} - 1}\,\frac{dT}{T} = -\frac{dv}{v}, \text{ arba } \frac{1}{k-1}\cdot\frac{dT}{T} = -\frac{dv}{v}.$$

Norint gauti adiabatinio išsiskėtimo išilgai kreivosios bc vaisius reikia integruoti šitą lygtį temperatūros ribose nuo T_1 iki T_2 ir tūrio ribose nuo v_1 iki v_2. Taigi mes turėsime:

$$\frac{1}{k-1}\int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = -\int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v}, \text{ arba } \frac{1}{k-1}\ln\frac{T_2}{T_1} = -\ln\frac{v_2}{v_1} =, \ln\frac{v_1}{v_2}.$$

Iš čia išeina $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}$ ..... (4)

Tokiu pat būdu kaipo adiabatinio suspaudimo išilgai kreivosios b a išdavą mes turėsime:

$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_0}{v_3}\right)^{k-1}$ ..... (5). Iš (4) ir (5) seka $\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_0}{v_3}\right)^{=k-1}$, arba $\frac{v_1}{v_2} = \frac{v_0}{v_3}$,

$$\text{arba } \frac{v_1}{v_0} = \frac{v_2}{v_3}$$

Tuo būdu lygtis (3) virsta lygtimi $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$ (6). Vadinasi, adiabatinio išsiskėtimo darbas A' yra lygus adiabatinio suspaudimo darbui A" (lygūs, vadinasi, ir tiems darbams ekvivalentingi šilimos kiekiai Q' ir Q"). Taigi naudingas darbas bus $A_1 - A_2 = (Q_1 - Q_2)$ J, ir mūsų idealinės mašinos naudingumo koeficientas bus $\frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ (atkartosime dar, kad mašinos naudingumo koeficientu mes vadiname santykį tarp šilimos, paverstos darbu, ir visos paimtos šilimos esant augštesnei temperatūrai).

Iš $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$, sudarydami darytinę proporciją, mes gausime tokį reiškinį mūsų idealinės mašinos naudingumo koeficientui: $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ (7), kaipo Carnot'o tyrinėjimų išdavą. Vadinasi, visa suteikta medžiagai šilima gali būti paversta darbu tik

tada, jeigu galima būtų atvėsinti ją iki absoliutinio nulio. Tokia padėtis negali būti realizuota ir todel nėra ir negali būti realinės mašinos, kuri visą suteiktą jai šilimą verstų darbu. Atlikdami ciklinį procesą su idealine mašina mes tiktai dalį suteiktos dujoms šilimos galėsime paversti darbu, dalį juo didesnę, juo augštesnė bus pradžios temperatūra, esant kuriai mes paimsime šilimą, ir juo žemesnė bus galutinė temperatūra, esant kuriai mes suteiksime tam tikrą šilimos kiekį kondensatoriui.

Nustatytas idealinės šilimos mašinos naudingumo koeficientas $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$, kaip jau anksčiau paaiškinta, bus tik tada, kada mes turime tokį šilimos procesą, kuris galima varyti ir priešinga kryptimi, ir varant taip galima grįžti prie pirmykščio stovio. Grįždami prie 89 piešinio, mes galime pradėti procesą nuo dujų stovio pažymėto raide b, vadinasi, esant tūriui v_1 slėgimui p_1 ir absolutinei temperatūrai T_1. Spausime dujas izotermiškai, taip kad jų tūris sumažėtų nuo v_1 iki v_0. Mes tada atliksime darbą A_1, kuris bus ekvivalentingas šilimos kiekiui Q_1; šis šilimos kiekis bus dujų atiduotas aplinkai esant absolutinei temperatūrai T_1.

Leisime dabar dujoms išsiskėsti adiabatiškai nuo tūrio v_0 iki tūrio v_3. Dujos atliks darbą A" išeikvodamos tam darbui dalį savo šilimos Q", taip kad jų temperatūra nupuls nuo T_1 iki T_2.

Tegu toliau dujos skečiasi izotermiškai nuo tūrio v_3 iki tūriui v_2. Tad dujų bus atliktas išorinis darbas A_2 ir tam reikalui bus išeikvotas šilimos kiekis Q_2, paimtas iš rezervuaro B esant T_2 temperatūrai.

Pagaliau suspausime dujas adiabatiškai, taip kad jų tūris sumažėtų nuo v_2 iki v_1. Mes atliksime tada darbą dujų atžvilgiu A' ir gausime kaipo šito darbo ekvivalentą šilimos kiekį Q', taip kad dujų temperatūra pakils nuo T_2 iki T_1. Tokiu būdu mes vėl grįšime į padėtį, pažymėtą diagramoje raide b. Mes čia ėjome, taip sakant, atžagariai, ir šito proceso išdava bus tokia. Kaip tiesioginiam procesui, taip ir šitam atbulam procesui galima konstatuoti, kad šilima Q", išnykusi adiabatiškai plečiantis dujoms, bus lygi šilimai Q' apsireiškusiai adiabatiškai spaudžiant dujas, taip kad abiejų adiabatinių procesų šilimos efektas ir, vadinasi, darbo efektas bus nulis. Taigi kaipo išdava šito atbulo proseso dujos absorbavo šilimą Q_2 iš rezervuaro B esant T_2 temperatūrai atlikdamos darbą A_2 ir atidavė šilimą Q_1 esant temperatūrai, augštesnei T_1 rezervuarui A, atlikus darbą A_1 dujų atžvilgiu. Taigi dujų atžvilgiu bus atliktas darbas $A_1 - A_2$ ir tuo pačiu laiku ekvivalentingas tam darbui šilimos kiekis $Q_1 - Q_2$ bus perkeltas iš rezervuaro B žemesnės temperatūros T_2 į rezervuarą A augštesnės temperatūros T_1. Taigi išeina, kad einant procesui apverčiamai šilimą galima pakelti nuo žemesnės į augštesnę temperatūrą tik atlikus tam tikrą darbą. Vadinasi, savaime apverčiamai šilima neteka nuo žemesnės temperatūros į augštesnę temperatūrą ir todel negalima gauti darbo iš šilimos vienodai temperuotų kūnų, arba, kalbant Carnot'o kalba, antrosios rūšies Perpetuum Mobile negalimas.

Pagaliau Carnot'as stato sau klausimą, ar galima konstruoti tokią šilimos mašiną, kurios naudingumo koeficientas būtų augštesnis kaip aprašytos čia idealinės šilimos mašinos, dirbančios apverčiamai. Įvairios šilimos mašinos skiriasi viena nuo kitos savo mechaniška konstrukcija ir medžiaga, kuriai tarpininkaujant eina šilimos procesas. Mes galime sau įsivaizduoti tobūliausią mechanišką šilimos mašinos konstrukciją ta prasme, kad tokioj mašinoj niekur nebus šilimos judėjimo be darbo ekvivalento, kaip jau anksčiau išaiškinta (nebus trynimo, šilimos nuostolių del priežasties radiacijos, konvekcijos, laidumo ir t. t.). Bet šitą tobūliausią konstrukciją mes galime pritaikinti mašinai, dirbančiai su bet kuria medžiaga. Vadinasi, šituo atveju šilimos mašinos tesiskiria viena nuo kitos tik dirbančia medžiaga. Pažymėsime mūsų idealinę šilimos mašiną, dirbančią idealinėmis dujomis, raide A ir paimsime kitą šilimos mašiną tobūliausios konstrukcijos, dirbančią medžiaga kitos rūšies, ir pažymėsime šitą mašiną raide B. Tegu abidvi mašinos dirba apverčiamai ir tegu mašinos B naudingumo koeficientas bus augštesnis kaip mašinos A. Suderinsime, sujungę abidvi mašinas, jų veikimą taip, kad mašina B su didesniu naudingumo koeficientu dirbtų tiesioginiu apverčiamu procesu, o mašina A su mažesniu naudingumo koeficientu tuo pačiu laiku dirbtų

atžagariai ir taip, kad darbas, atliktas mašinos B, būtų lygus darbui, absorbuotam mašinos A (tai bus tada, kada stumeklių pasistūmimai bus išlyginti). Tada mes turėsime šį dalyką:, mašina B absorbuos esant augštesnei temperatūrai T_1 šilimą Q^1_1 ir atiduos žemesne temperatūra T_2 šilimą Q^1_2, atlikus išorinį darbą $Q^1_1 - Q^1_2$. Tuo pačiu laiku mašina A absorbuos šilimą Q_2 žemesne temperatūra T_2 ir atiduos šilimą Q_1 augštesne temperatūra T_1 absorbuodama darbą $Q_1 - Q_2$. Kadangi abiejų mašinų veikimas suderintas taip, kad atliekamas vienas darbas yra lygus kitos mašinos absorbuotam darbui, tad

$$Q^1_1 - Q^1_2 = Q_1 - Q_2$$

Antra vertus mes priėmėme, kad mašinos B naudingumo koeficientas yra augštesnis kaip mašinos A, vadinasi,

$$\frac{Q^1_1 - Q^1_2}{Q^1_1} > \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}.$$

Padalinę abi šitos nelygybės dalis iš augščiau paduotos lygties mes gausime $\frac{1}{Q^1_1} > \frac{1}{Q_1}$, arba $Q_1 > Q^1_1$. O imdami domėn šitą nelygybę ir sulygindami ją su lygtimi $Q^1_1 - Q^1_2 = Q_1 - Q_2$, mes prieisime prie išvados, kad $Q_2 > Q^1_2$, taip kad $Q_1 - Q^1_1 = Q_2 - Q^1_2$. Bet Q_1 yra šilima, atiduota prastesnės, sakysim, mašinos A rezervuarui su augštesne temperatūra T_1, o Q^1_1 yra šilima, absorbuota geresnės mašinos irgi tąja pačia augštesne temperatūra T_1. Q_2 yra šilima absorbuota prastesnės mašinos iš rezervuaro T_2 ir Q^1_2 šilima, atiduota geresnės mašinos tam pačiam rezervuarui esant T_2 temperatūrai. Taigi išeina taip, kad šilimos kiekis $Q_2 - Q^1_2 = Q_1 - Q^1_1$ savaime perėjo be jokio darbo ekvivalento nuo kūno žemesnės temperatūros T_2 į kūną augštesnės temperatūros T_1. Vadinasi, jeigu galima būtų realizuoti aprašytą čią dviejų mašinų kombinaciją, tai mes turėtumėm Perpetuum Mobile antrosios rūšies. Bet toksai dalykas negalimas ir, vadinasi, aprašyta čia mūsų kombinacija irgi negalima ir, vadinasi, mūsų manymas, kad gali būti tokia mašina, kurios naudingumo koeficientas augštesnis kaip augščiau aprašytos idealinės mašinos, prieštarauja antrosios rūšies Perpetuum Mobile negalimumo postulatui. Vadinasi, šis šilimos mašinų naudingumo koeficientas visiškai nepareina nuo vartojamos dirbančios medžiagos, jeigu tik konstrukcija mašinų su įvairia medžiaga yra vienodo tobūlumo.

Kaipo išdavą visų augščiau aprašytų savo tyrinėjimų ir samprotavimų Carnot'as skelbia tokią termodinaminę teoremą: „visos apverčiamos šilimos mašinos reiškia tą patį naudingumo koeficientą, jeigu tik jos absorbuoja ir atiduoda šilimą esant toms pačioms temperatūroms“.

Jeigu to nebūtų, tai Perpetuum Mobile antros rūšies negalimumo dėsnis, arba antrasai termodinamikos dėsnis, neveiktų.

Tą patį termodinamikos dėsnį Klausijus formuluoja taip: „automatiškai veikianti mašina be išorinio veikimo pagalbos negali perkelti šilimą nuo kūno žemesnės temperatūros į kūną augštesnės temperatūros, arba, kitaip sakant, šilima savaime ir apverčiamu būdu negali pereiti nuo šalto kūno į šiltą kūną“.

Aiškumo dėliai duosime čia pavyzdį kaip tik perėjimo šilimos savaime nuo šalto kūno į šiltą kūną. Įsivaizduokime sau du cilindrus iš medžiagos, kuri neperleidžia šilimos, su stumekliais. Tegu viename cilindre, sakysime, A randasi oras esant spaudimui p_a ir temperatūrai t_a, o kitame cilindre B randasi irgi oras esant spaudimui p_b ir temperatūrai t_b. Tegu $p_a > p_b$ ir $t_a < t_b$. Sujungsime dabar tuos abudu cilindrus taip, kad oras galėtų skėstis cilindre A ir spausti orą cilindre B. Kadangi cilindrai ir stumekliai padirbti iš medžiagos, kuri neperleidžia šilimos, tai šilima iš cilindro B augštesnės temperatūros negali pereiti laidumo keliu į cilindrą A žemesnės temperatūros. Bet skėčiantis orui cilindre A jo temperatūra puls žemyn. Tuo pačiu laiku oras cilindre B bus spaudžiamas ir jo temperatūra kils augštyn. Šitas procesas eis patol, pakol oro spaudimai abiejuose cilindruose išsilygins. Kaipo išdavą šito proceso mes turėsime perėjimą tam tikro šilimos kiekio nuo šaltesnio oro cilindre A į šiltesnį

orą cilindre B. Bet pasibaigus procesui oro stovis abiejuose cilindruose bus jau nebe tas kaip buvo iš pradžios ir grįžti prie pradžios stovio be jokių likučių išorinio efekto nebegalima. Vadinasi, čia mes turėsime neapverčiamąjį procesą, ir tokio proceso antrasai termodinamikos dėsnis neliečia. Taigi, aprašytas čia šilimos perėjimas nuo žemesnės temperatūros į augštesnę temperatūrą visiškai neprieštarauja Carnot'o postulatui. Tokių pavyzdžių, žinoma, galima nurodyti ir daugiau.

Grįžtant prie Carnot'o nustatyto naudingumo koeficiento tobūlai šilimos mašinai $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ mes turėsime tą patį naudingumo koeficientą, ar mes dirbsime su idealinėmis dujomis, ar dirbsime su dujomis, arba garais, tarp kurių molekulų veikia kohezijos jėgos ir, vadinasi, kur reikia skaitytis su teigiamu ir neigiamu vidujiniu darbu, ar pagaliau mes dirbsime su tokia medžiaga, kaip vanduo, eteris, gyvsidabris ir t. t. Tegu mes dirbame temperatūros ribose $120^0 - 10^0$ (120^0 temperatūra rezervuaro, iš kurio semiama šilima, sakysime, katilo, o 10^0 temperatūra rezervuaro, kuriam atiduodama šilima, sakysime, kondensatoriaus). Atliksime su vandeniu, eteriu ir gyvsidabriu Carnot'o ciklą augščiau nurodytų temperatūrų ribose. Tūrio ir spaudimo atmainos bus nevienodos trims medžiagoms. Taip pat bus nevienodi ir šilimos kiekiai, absorbuojami augštesne temperatūra ir atiduodami žemesne temperatūra, bet visų tų trijų mašinų naudingumo koeficientas bus tas pats, būtent, $\frac{120^0 - 10^0}{283} = 0{,}39$, arba 39 % absorbuotos esant augštesnei temperatūrai šilimos bus paversti naudingu darbu.

Apie teoretinę reikšmę Carnot'o išvadų mes kalbėsime vėliau. O čia pabrėšime tik, kad visa, kas padaryta praktikoje šilimos mašinoms patobūlinti, remiasi Carnot'o išvadomis. Pirmiausia pakelti naudingumo koeficientui reikia, kad mašinos cilindras būtų gerai izoluotas, kad visos jos metalinės dalys gražiai blizgėtų, vadinasi, būtų švariai laikomos, nes joms aprūdijus, arba apsitraukus nešvarumais, nuostoliai šilimos radiacijos keliu padidės. Bet tai yra sulyginti mažmožis. Kitas būdas pakelti šilimos mašinos naudingumui — tai turėti kuo augštesnės temperatūros šilimos rezervuarą ir kuo žemesnės temperatūros kondensatorių, kaip tai aiškiai rodo santykis $\frac{T_1 - T_2}{T_2}$. Taigi tobūlinant garines mašinas įsivyravo vadinamosios augšto spaudimo mašinos, kurios dirba su perkaitintais garais, net augščiau krizio vandens temperatūros. Bet čia reikia išpildyti tą sąlygą naudingumo maksimumui, kuri reikalauja, kad šilimos mašinos procesai kuo mažiau apsilenktų su apverčiamu procesu. Taigi augšto spaudimo mašinos dirba su dviem ir trimis cilindrais, vadinasi, yra mašinos dvigubo ir trigubo išsiskėtimo, kur garai iš eilės eina iš vieno cilindro į kitą, atiduodami, taip sakant, laipsniais labiau nuosakiai savo kinetinę energiją ir tokiu būdu suteikdami procesui didesnį apverčiamumo laipsnį. Jeigu imti dar domėn išnaudojimą atidirbusių garų šilimos provizoriniam vandens pašildymui, kuris pompuojamas į katilą vadinamosios ekonomaizerių sistemos pagalba, tai ir gausime mašinos instalaciją, įtaisytą pagal Carnot'ą. Bet ir turint tokios rūšies mašinas dideli šilimos nuostoliai neišvengiami pirmiausia ten, kur krosnies liepsna apima katilo paviršių. Čia mes turime tiesioginį kontaktą dviejų kūnų, kurių temperatūra smarkiai skiriasi: liepsnos temperatūra augščiau 1000^0 ir katilo temperatūra daugiausia $200 - 300^0$. Tokiomis aplinkybėmis mes turime perėjimą šilimos nuo kūno augštesnės temperatūros (liepsnos) į kūną žemesnės temperatūros (katilo) neatliekant jokio darbo. Vadinasi, turime neapverčiamąjį procesą, kuris mažina mašinos naudingumą, nes čia dideli šilimos kiekiai negali būti paversti darbu ir pasilieka šilimos forma esant žemesnei temperatūrai. Taigi norint turėti mašiną su geresniu šilimos naudojimu buvo prieita prie vadinamųjų vidujinio degimo variklių, į kurių cilindrą įleidžiamas oro ir degamos medžiagos mišinys, sakysime, oro ir degamųjų dujų mišinys, arba oro ir benzino garų mišinys, kaip automobilių ir aeroplanų varikliuose, arba net oro ir naftos mišinys. Šitas mišinys padegamas vadinamojo „magneto" (tiksliau sakant, pagalba kibirkšties, kuri sudaroma elektromagnetinės indukcijos keliu). Vadinasi, čia degimo procesas vyksta pačiam cilindre. Tas

procesas vyksta čia labai greitai, taip kad jis turi čia sprogimo charakterį. Sprogstant dujų tūris smarkiai didėja ir jų spaudimu pavaromas stumeklis. Bet vadinamojo „magneto" veikimas čia irgi yra šilimos nuostolių priežastis. Todel įgijusiuose pastaraisiais laikais didelės reikšmės vadinamuose Diesel'io varikliuose į cilindrą injekcijos keliu įvaroma pulverizuota nafta ir smarkiai suspaustas oras, kuris del priežasties suspaudimo turi augštą temperatūrą, taip kad nafta padegama cilindre suspausto oro karščiu. Visuose panašios rūšies varikliuose žymiai sumažintas perėjimas šilimos be darbo nuo karštesnių kūnų į šaltesnius kūnus ir tuo pačiu būdu žymiai pakeltas jų naudingumo efektas. Pagaliau priminsime čia dar garines turbinas, kur augšto spaudimo garų kinetinė energija, taip sakant, betarpiai pereina į mašinos ašies sukimąsi, tokiu būdu pasiekiamas gana didelis naudingumo efektas. Naudingumo koeficientas šių dienų turbinų siekia iki 36%, naudingumo koeficientas Diesel'io variklių siekia iki 34%, o augšto spaudimo mašinų naudingumo koeficientas neperžengia 20%. Tai ir bus vaisiai Carnot'o teorijos pritaikinimo šilimos mašinų technikai. Labai galimas daiktas, kad technikams pasiseks dar pakelti šilimos mašinų naudingumo koeficientą, bet iš to, kas anksčiau pasakyta, aišku, kad iš esmės negali būti perėjimo visos šilto kūno šilimos į darbą.

Dirbant apverčiamu cikliniu procesu iš tam tikro šilimos kiekio galima gauti darbo maksimumas. To darbo didumas nepareina nuo medžiagos, kurios pagalba varomas apverčiamas ciklinis procesas, o pareina tik nuo temperatūrų šalto ir karšto kūnų skirtumo, vadinasi, nuo temperatūrų, esant kurioms paimta medžiaga absorbuoja šilimą iš karšto kūno ir atiduoda ją šaltam kūnui. Vadinasi, šitas darbas yra proporcingas šalto ir karšto kūnų temperatūrų skirtumui. Taigi remdamasis šituo faktu lordas Kelvinas (William Thomson) nustatė temperatūrų skalę, kurią galima pavadinti tikrai absolutine skale ta prasme, kad ji visiškai nepareina nuo paimtos medžiagos ypatumų. O praktikoje vartojamos temperatūrų skalės, kaip mes žinome, pareina nuo paimtos medžiagos ypatumų, kaip, pavyzdžiui, gyvojo sidabro termometro skalė, arba dujų termometro skalė.

Trumpai išdėstysime čia lordo Kelvino samprotavimus, pasinaudoję diagrama, kurią atvaizduoja 90 piešinys. Nupiešime bet kuriai medžiagai dvi izotermas BB' ir AA', atitinkančias dviems temperatūroms ϑ ir ϑ_0, atidėdami, kaip visuomet, medžiagos tūrius ant abscisos, o atitinkančius spaudimus lygiagrečiai ordinatai. Tegu izoterma AA' atitinka ledo tirpimo temperatūrai, arba ledo taškui Celsijaus gyvojo sidabro termometro, o izoterma BB' — vandens virimo temperatūrai esant normaliniam spaudimui. Paimsime ant izotermos BB' mūsų medžiagos stovį, pažymėtą tašku β, ir atliksime aprašytą jau Carnot'o ciklinį procesą su mūsų medžiaga:

1) Duosime medžiagai izotermiškai išsiskėsti nuo padėties β iki padėties β'; 2) paskui leisime jai adiabatiškai išsiskėsti nuo padėties β' ant izotermos BB' iki padėties α' ant izotermos AA'; 3) toliau suspausime ją izotermiškai nuo padėties α' iki padėties α ir 4) pagaliau suspausime ją adiabatiškai nuo padėties α ant izotermos AA' iki padėties β ant izotermos BB', grąžindami tokiu būdu medžiagą į jos pirmykštį stovį. Kaip jau mes žinome, atliekant apverčiamai šitą ciklinį procesą mūsų medžiaga absorbuos šilimą Q esant temperatūrai ϑ ir atiduos šilimą Q_0 esant temperatūrai ϑ_0, atlikdama darbą, ekvivalentingą $Q - Q_0$, kuris mūsų diagramoje yra lygus plotui $\beta\beta'\alpha'\alpha$, apibrėžtam dalimis izotermos BB' ir AA' ir dviejų adiabatų $\beta'\alpha'$ ir $\beta\alpha$. Šitam procesui galioja santykis $\frac{Q-Q_0}{Q}=\frac{\vartheta-\vartheta_0}{\vartheta}$, jeigu ϑ ir ϑ_0 reiškia absolutinę temperatūrą, skaitant nuo absolutinio nulio, ir jeigu absolutinės temperatūros nuliu laikomas toks medžiagos stovis, kuriame iš medžiagos atimta visa jos šilima. Taigi išeina, kad varant šitą ciklinį procesą atliktas darbas bus proporcingas izotermų BB' ir AA' temperatūrų skirtumui. Padalinsime dabar šitą plotą į 100 lygių dalių izotermomis CC', DD', EE' ir t. t. Del stokos vietos piešiny plotas $\beta\beta'\alpha'\alpha$ padalintas tik į 4 lygias dalis augščiau nurodytomis izotermomis. Taigi plotas $\beta\beta'\gamma'\gamma = \gamma\gamma'\delta'\delta = \delta\delta'\varepsilon'\varepsilon = \varepsilon\varepsilon'\alpha'\alpha$ ir t. t. Kiekvienas iš šitų plotų reiškia darbą, gautą atliekant apverčiamai ciklinį procesą tarp izotermų B ir C, C ir D, D ir E, E ir A ir tarp dviejų adiabatų $\beta'\alpha'$ ir $\beta\alpha$

dalių. Taigi kiekvienos izotermos temperatūrą galima išreikšti kaipo plotą, apibrėžtą tos izotermos, abiejų adiabatų ir izotermos AA'. Pavyzdžiui, temperatūra izotermos EE' bus lygi plotui $\varepsilon\varepsilon'\alpha'\alpha = \frac{1}{4}\beta\beta'\alpha'\alpha = \frac{100}{4} + \vartheta_0 = 25 + \vartheta_0$, nes skirtumas temperatūrų izotermų BB' ir AA' mūsų pavyzdyje yra lygus 100°, o izotermos AA' temperatūra yra ϑ_0. Taip pat izotermos DD' temperatūra yra lygi plotui $\delta\delta'\alpha'\alpha = \frac{1}{2}\beta\beta'\alpha'\alpha = \frac{100}{2} + \vartheta_0 = 50 + \vartheta_0$. Tegu plotas $\beta\beta'\alpha'\alpha = A$. Tad aplamai plotas tarp dviejų izotermų temperatūrų ϑ ir $\vartheta - 1$ ir dviejų adiabatų $\beta\alpha$ ir $\beta'\alpha'$ bus $\frac{A}{100}$. Bet einant Carnot'o teorema šitas plotas bus lygus Q – Q', kur Q reiškia šilimą, absorbuotą ant izotermos temperatūros ϑ, o Q' — šilimą, atiduotą ant izotermos $\vartheta - 1$. Vadinasi, $Q - Q_1 = \frac{A}{100}$. Jeigu mes dabar paimsime dvi bet kurias izotermas ϑ_1 ir ϑ_2 ir dvi adiabatas $\beta\alpha$ ir $\beta'\alpha'$, tai apibrėžtas jų plotas bus $Q_1 - Q_2 = (\vartheta_1 - \vartheta_2)\frac{A}{100}$ (1). Čia Q_1 reiškia šilimą, absorbuotą ant izotermos ϑ_1, o Q_2 reiškia šilimą, atiduotą ant izotermos ϑ_2. Primename, kad šitie santykiai tegalioja tik turint darbą su apverčiamuoju Carnot'o cikliniu procesu tarp dviejų izotermų ir dviejų adiabatų.

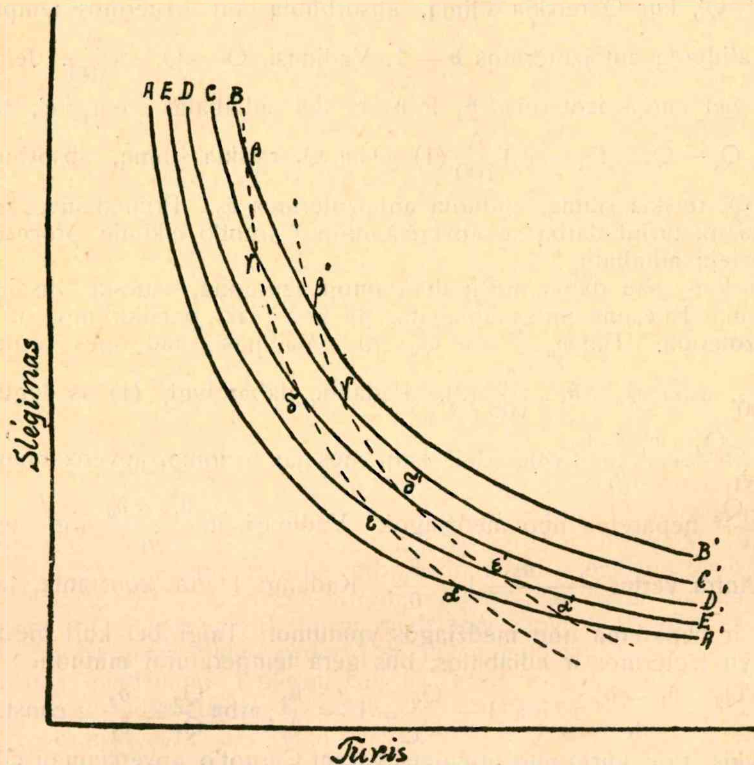
Įsivaizduokime sau dabar mūsų diagramoje izotermą, ištiestą absoliutiniam temperatūros nuliui. Ištiesime mūsų adiabatas $\beta\alpha$ ir $\beta'\alpha'$ iki persikirtimo su šita absoliutinio nulio izoterma. Tad $\vartheta_0 = 0$ ir $Q_2 = 0$. Vadinasi, tad mes turime $Q_1 - 0 = (\vartheta_1 - 0)\frac{A}{100}$, arba $Q_1 = \vartheta_1 \cdot \frac{A}{100}$ (2), Padalinę dabar lygtį (1) iš lygties (2), mes gausime: $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{\vartheta_1}$ (3). Bet, kaip mes jau žinome, apverčiamame cikliniame procese $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ nepareina nuo medžiagos. Vadinasi, ir $\frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{\vartheta_1}$ irgi nepareina nuo medžiagos. Antra vertus $\frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{\vartheta_1} = 1 - \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1}$. Kadangi 1 yra konstanta, tai ir $\frac{\vartheta_2}{\vartheta_1}$ irgi yra konstanta ir nepareina nuo medžiagos ypatumo. Taigi bet kuri medžiaga, kuriai galima nustatyti izotermos ir adiabatos, bus gera temperatūrai matuoti.

Iš $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{\vartheta_1}$ išeina $1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1}$, arba $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} = \text{const.}$ — jau mums žinomas santykis, prie kurio mes priėjome varant Carnot'o apverčiamąjį ciklinį procesą. Žodžiais tai reiškia, kad bet kurios izotermos temperatūra yra proporcinga absorbuotai arba atiduotai ant tos izotermos šilimai ir, vadinasi, gali būti išreikšta šilimos vienetais arba, einant energijos tvarumo dėsniu, energijos vienetais. Vienas iš svarbiausių fizikos uždavinių yra išreikšti visus fizikos dydžius ilgio, masės ir laiko pagrindiniais vienetais, arba sudarytais iš tų vienetų jėgos, energijos, potencialo ir t. t. vienetais. Taigi remdamies Carnot'o išvadomis mes turime galimumo išreikšti temperatūrą absoliutinės matų sistemos vienetais, mūsų atvejyje ergais, kurie visiškai nepareina nuo paimtos medžiagos ypatumo. O išreikšdami tokiu būdu temperatūrą mes turėsime dalyką su tikrai absoliutine temperatūros skale.

Įrodysime dabar, kad absoliutinė temperatūra pagal Kelvino absoliutinę skalę pilnai atitinka absoliutinei temperatūrai, matuojamai tobūlų dujų termometro pagalba, vadinasi, tokių dujų, kurios visiškai seka Boyle-Mariott'o Gay-Lussac'o dėsniu.

Pagal Kelvino skalę mes turime $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{\vartheta_1}$. Vykindami apverčiamą ciklinį procesą su tobūlomis dujomis ir matuodami temperatūras tobūlų dujų termometro pa-

galba, mes turėsime $\frac{Q_1-Q_2}{Q_1}=\frac{T_1-T_2}{T_1}$. Iš čia išeina $\frac{\vartheta_1-\vartheta_2}{\vartheta_1}=\frac{T_1-T_2}{T_1}$, arba $\frac{100}{\vartheta_1}=\frac{100}{T_1}$, arba $\vartheta_1=T_1$, jeigu ϑ_1 bus vandens absoliutinė virimo temperatūra (izoterma BB' diagramos 90 pieš.), o ϑ_2 bus ledo tirpimo temperatūra (izoterma AA'). Taigi išeina, kad absoliutinė temperatūra pagal Kelvino absoliutinę skalę bus visais atžvilgiais ta pati, kaip ir atskaityta pagal tobūlų dujų termometro skalę, vadinasi, ir atskirų gradų abiejų skalių didumas bus tas pats. Tai bus todel, kad abiejų skalių nulio temperatūrai atitinka tas pats medžiagos stovis, būtent, toksai stovis, kuriame, einant Kelvino skale, nuo medžiagos atimama visa jos šilima, arba kuriame, einant tobūlų dujų termometro skale, dujų kinetinė energija darosi lygi nuliui.



Pieš. 90.

Taigi Kelvino skalės patogumas ir jos mokslinga vertė yra ta, kad jos gradų didumas visiškai nepareina nuo medžiagos ypatumo ir kad temperatūra gali būti išreikšta, kaip jau anksčiau pasakyta, energijos vienetais, vadinasi, vadovaujantis išimtinai mechaniškais samprotavimais, ir visiškai nepriklausomai nuo tos ar kitos medžiagos ypatumo.

Bet visos realinės dujos daugiau ar mažiau apsilenkia su Boyle-Mariott'o dėsniu ir, vadinasi, vartojant realines dujas kaipo medžiagą termometru, gradų didumas pareis nuo medžiagos ypatumo. Užvis mažiau apsilenkia su Boyle-Mariott'o dėsniu vandenilis, ir todel vandenilio termometro skalė užvis mažiau skiriasi nuo absoliutinės Kelvino skalės.

Ši lentelė paduoda temperatūras pagal Kelvino skalę (vartojant Celsijaus nuolatinius taškus) ir pataisas vandenilio termometro skalei.

Kelvino skalės temperat.	Pataisos vandenilio termometrui.
— 240	+0,18
— 200	+0,06
— 100	+0,01
— 50	+0,005
+ 10	—0,00
+ 40	—0,001
+ 70	—0,001
+ 200	+0,004
+1000	+0,07

Iš tos lentelės aišku, kad vidutinėms temperatūroms, vadinasi, išskyrus labai žemas ir augštas temperatūras, vandenilio termometro parodymai taip mažai skiriasi nuo Kelvino absolutinės temperatūrų skalės, arba vadinamosios termodinaminės skalės, jog praktikoj tos abidvi skalės galima laikyti identiškomis.

23 §. Carnot'o dėsnio apibendrinimas kitoms energijos rūšims. Teoretiniai darbai Clausius'o, Kelvino ir Helmholtz'o šitoje srityje. Entropijos sąvoka. Entropijos augimo dėsnis. Laisvosios ir surištosios energijos sąvokos. Energijos sklidimas. I ir II termodinamikos dėsniai ir jų reikšmė fizikai.

Carnot'o tyrinėjimai buvo atlikti ir paskelbti daugiau kaip 20 metų prieš paskelbiant energijos tvarumo dėsnį. Bet iš kai kurių jo išsireiškimų cituotame jau jo veikale „Reflexion sur la Puissance Motrice du Feu" aišku, kad Carnot'ui nebuvo svetima energijos tvarumo idėja. Tuo neduoda abejoti kai kurios vietos minėtame veikale, kurias mes čia paduosime žodis į žodį:

„Šilima yra ne kas kita", rašo Carnot, „kaip judėjimo jėga, arba, tiksliau sakant, judėjimas, kuris pakeitė savo formą. Tai judėjimas mažų kūno dalelių. Kur naikinama judėjimo jėga, ten tuo pačiu laiku atsiranda šilimos kiekis tiksliai proporcingas kiekiui panaikintos judėjimo jėgos. Ir atbulai, visuomet, kada išnyksta šilima, atsiranda judėjimo jėga. Taigi mes galime bendrai tvirtinti, kad judėjimo jėgos kiekis gamtoje yra pastovus dydis, kad, tiksliai kalbant, ta jėga negali būti nei sukurta, nei panaikinta. Tikrenybėje ji tik keičia savo formą, tai yra, kai kada ji sukuria vienos rūšies judėjimą, kai kada kitos rūšies judėjimą, bet ji niekuomet negali būti panaikinta".

Šitie žodžiai yra visiškai aiškūs ir duoda bendrą energijos tvarumo principo formulavimą.

Kaip jau mes anksčiau minėjome, Carnot'o tyrinėjimai šilimos mašinų srityje sudarė pagrindą, ant kurio vėliau jau, paskelbus energijos tvarumo dėsnį, buvo suformuluotas naujas labai bendros reikšmės principas kaipo energijos dėsnio papildymas.

Carnot'o tyrinėjimų postulatas, tai negalimumas sukurti arba gauti judėjimo jėgą be kuro, tiesiog semiant šilimą iš bet kurio kūno be pagalbos kito kūno žemesnės temperatūros, nes šilima būva judėjimo jėgos arba darbo išteklius tik tada, kada ji savaime pereina nuo karštesnio į šaltesnį kūną. Savaime šilima apverčiamai niekuomet nepereina priešinga prasme. Trumpai sakant, mes čia turime antrosios rūšies Perpetuum Mobile negalimumo formulavimą. Šitą mintį Klausijus išreiškė irgi sakydamas, kad šilima savaime ir apverčiamu būdu negali pereiti nuo šalto kūno į šiltą kūną. Pagaliau ir didžiausias XIX šimtmečio Anglijos fizikas William Thomson'as (paskiau lordas Kelvinas) taip formuluoja Carnot'o tyrinėjimų vaisius:

„Negalima veikiant negyvai medžiagai gauti mechaniško efekto nuo bet kurios dalies materijos, atvėsinus ją žemiau tos temperatūros, kurią turi šalčiausias iš aplinkos kūnų. Jeigu atmesti šitą aksiomą visoms temperatūroms, tai reikėtų leisti, kad galima būtų padirbti automatiškai veikiančią mašiną, kuri galėtų sukurti mechanišką efektą paprastu vėsinimu vandenyno arba žemės, ir toksai procesas galėtų tęstis pakol

žemė ir vandenynas nustotų savo šilimos, iš tikrųjų pakol visas pasaulis nustotų savo šilimos".

Mes čia turime tą patį principą, išreikštą kitais žodžiais, kuris papildo energijos tvarumo dėsnį ta prasme, kad atsako į klausimą, kokia kryptimi vyksta gamtos procesai savaime. Energijos tvarumo dėsnis tekonstatuoja tik tą faktą, kad ribotos ir uždarytos kūnų sistemos energija nesimaino vykstant toje sistemoje įvairių įvairiausioms atmainoms, jeigu tik sistemos neveikia kokie nors išoriniai veiksniai. Bet kokia prasme, kokia kryptimi vyksta atmainos sistemoje, apie tai energijos tvarumo dėsnis nieko nesako. Energijos tvarumo dėsnis konstatuoja, kad virstant šilimai darbu visais atvejais galioja tas pats ekvivalentingumo santykis — duotas šilimos kiekis gali būti išreikštas visuomet tam tikru darbo vienetų skaičiumi. Bet energijos tvarumo dėsnis nieko nesako apie tai, kuriomis sąlygomis šilima virsta darbu ir ar visa duota šilima galima paversti darbu ar tik tam tikrà jos dalis? Į šitą klausimą atsako, pirmiausia šilimai, tas naujas principas, kuris nustatytas remiantis Carnot'o tyrinėjimais ir kuris suformuluotas paties Carnot'o, Klausijaus ir Kelvino, kaip augščiau paduotose citatose tai suformuluota. Taigi išeina, kad šilimos procesai gamtoje savaime tevyksta tik viena kryptimi, būtent, visuomet šilima teka nuo karštesnio į šaltesnį kūną ir tik tokiomis sąlygomis šilima atlieka darbą. Vadinasi, šilimos procesai gamtoje vyksta savaime atlikdami darbą. Mes vėliau pamatysime, kad ir visi kiti procesai gamtoje vyksta savaime ta pačia prasme, būtent, atlikdami darbą.

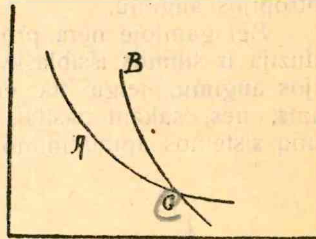
Kad šitas dėsnis galima būtų pritaikinti sprendžiant įvairias fizikos problemas, reikia suteikti jam matematišką formą. Tai buvo padaryta Klausijaus, ir mes dabar pasipažinsime su nauju termodinamikos dydžiu, Klausijaus nustatytu.

Grįšime prie 90 piešinio. Paimsime bet kurios medžiagos stovį, pažymėtą tašku α ant nulinės izotermos AA' ir keisime tos medžiagos stovį adiabatiškai (spausime, sakysime, adiabatiškai dujas) iš eilės pereidami per visą eilę izotermų ir pasiekdami temperatūras nuo 0^0 iki 100^0 (adiabata $\alpha\, \varepsilon\, \delta\, \gamma\, \beta$). Bet mes galime atlikti tą pačią eilę adiabatinių mūsų medžiagos stovio atmainų, pradėję nuo medžiagos stovio, pažymėto tašku α' ant tos pačios izotermos AA', ir eidami išilgai adiabatos $\alpha'\, \varepsilon'\, \delta'\, \gamma'\, \beta'$. Tokiu būdu mes irgi iš eilės pasieksime temperatūras nuo 0^0 iki 100^0. Vadinasi, temperatūros pakilimas arba jos puolimas, pereinant nuo vienos izotermos į kitą, visiškai nepareina nuo adiabatos, išilgai kurios mainosi medžiagos stovis.

O pereinant nuo vienos adiabatos į kitą išilgai izotermos mes turėsime reikalo su šilimos atmainomis nesikeičiant temperatūrai. Šilima bus absorbuojama medžiagos, jeigu medžiagos bus atliekamas išorinis darbas, arba jeigu didės jos vidujinė energija. Atbulai, šilima bus medžiagos atmetama, jeigu medžiagos atžvilgiu bus atliekamas darbas, arba jeigu mažės jos vidujinė energija. Pereinant, sakysime, nuo adiabatos $\beta\, \gamma$ į adiabatą $\beta^1\, \gamma^1$ išilgai izotermos BB^1 medžiaga atliks išorinį darbą ir absorbuos šilmos kiekį Q_1 esant T_1 temperatūrai. O pereinant nuo adiabatos $\beta^1\, \gamma^1$ į adiabatą $\beta\, \gamma$ išilgai izotermos CC^1, medžiagos atžvilgiu bus atliktas išorinis darbas, ir ji atiduos šilimos kiekį Q_2 esant T_2 temperatūrai. Šitas perėjimas duos mums darbą, ekvivalentingą $Q_1 - Q_2$ = plotui $\beta\beta^1\gamma^1\gamma$. Taigi šitam perėjimui galioja Carnot'o proporcija $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$, arba $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$, arba $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$. Vadinasi, santykis tarp absorbuotos šilimos ir absolutinės temperatūros, esant kuriai tai įvyko, yra pastovus dydis visoms izotermoms, nes tai, kas mūsų čia konstatuota izotermoms BB^1 ir CC^1, gali būti atkartota ir visoms kitoms izotermoms. Aišku, kad šitas santykis yra charakteringas dydis kiekvienai adiabatai, nes kaip tik pereinant nuo vienos adiabatos į kitą išilgai izotermos bus absorbuojama arba atmetama šilima, o pereinant išilgai adiabatos nuo vienos izotermos į kitą, šilima nebus nei absorbuojama iš oro nei atiduodama aplinkai. Taigi, kaip izotermos skiriasi viena nuo kitos temperatūra, taip adiabatos skiriasi viena nuo kitos santykiu $\frac{Q}{T}$. Aišku, kad šitas dydis yra medžiagos stovio funkcija, vadinasi,

funkcija tūrio, spaudimo, temperatūros ir t. t. Tai va šitą dydį Klausijus pavadino **entropija**, nuo graikų žodžio ἠτροπή — kas reiškia atmainą, transformaciją. Žodžiais, — entropija tai yra tokia medžiagos savybė, kuri nesimaino pakol šilima nesuteikiama medžiagai iš aplinkos, arba neatimama nuo jos aplinkos kūnais. Kadangi kaip tik tokios rūšies yra visos adiabatinės atmainos, tai dažnai adiabatos vadinasi izentropomis. Kada šilima suteikiama medžiagai, jos entropija auga. Kada šilima atimama nuo medžiagos, jos entropija mažėja.

Absolutinis entropijos dydis tam ar kitam kūnui nustatyti negalima, taip pat kaip negalima nustatyti absolutinis energijos dydis. Galima tiktai surasti relatyvus dydis sauvališkai paskyrus bet kuriam medžiagos stoviui, sakysime, stoviui, kuris charakterizuojamas 0^0 temperatūros, normaliniu spaudimu ir tam tikru tūriu, entropija 0 ir laikant šitą medžiagos stovį normaliniu, arba pradžios, stoviu.



Pieš. 91.

91 piešinio diagramos pagalba paaiškinsime, kaip galima surasti, arba apskaityti, sakysime, vieno gramo bet kurios medžiagos entropiją. Tegu linija AC bus izoterma, o linija BC adiabata. Skaitysime medžiagos pradžios stoviu jos stovį, pažymėtą tašku A ant izotermos AC ir skaitysime, kad tame stovyje entropija yra lygi nuliui, kitaip sakant, skaitysime, kad per tašką A eina nulinė adiabata. Paimsime dabar ant adiabatos BC taške B vieną gramą bet kurios medžiagos. Tegu mūsų medžiaga išsiskės adiabatiškai iki taško C, kur adiabata BC perkerta izotermą AC, vadinasi, pakol pasieks temperatūros T, kuria charakterizuojama izoterma AC. Entropijos atmaina čia bus lygi 0, nes skečiantis adiabatiškai medžiaga neabsorbuos šilimos iš oro. Spausime dabar mūsų medžiagą izotermiškai pakol pasieksime stovį taške A. Spaudžiama tokiu būdu medžiaga atmes šilimos kiekį Q esant temperatūrai T ir, vadinasi, entropijos atmaina bus lygi $\frac{Q}{T}$. Tokiu būdu mes nustatysime entropiją, kuria charakterizuojasi medžiagos stovis, pažymėtas tašku B.

Paimsime dabar du kūnus nevienodos temperatūros T_1 ir T_2 ir tegu $T_1 > T_2$. Jeigu tie kūnai randasi kontakte, tai tam tikras kiekis šilimos Q laidumo keliu pereis nuo karštesnio kūno į šaltesnį kūną. Vadinasi, entropija karštesnio kūno sumažės dydžiu $\frac{Q}{T_1}$, o entropija šaltesnio kūno padidės dydžiu $\frac{Q}{T_2}$. Taigi entropija abiejų kūnų padidės dydžiu $\frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1} = Q\frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2}$ (padidės, nes $T_1 - T_2$ yra teigiamas dydis). Vadinasi, slenkant šilimai laidumo keliu ir neatliekant darbo, tai yra neapverčiamu būdu, nuo karštesnių kūnų į šaltesnius kūnus, kūnų sistemos entropija auga.

Kadangi, kaip jau mes matėme anksčiau, perėjimas šilimos nuo karštesnio kūno į šaltesnį neatliekant darbo yra neapverčiamasis procesas, tai žiūrėdami į abudu kūnus kaipo į vieną uždarą sistemą mes galime pasakyti, kad entropija uždaros sistemos, vykstant joje atmainoms, neapverčiamai auga.

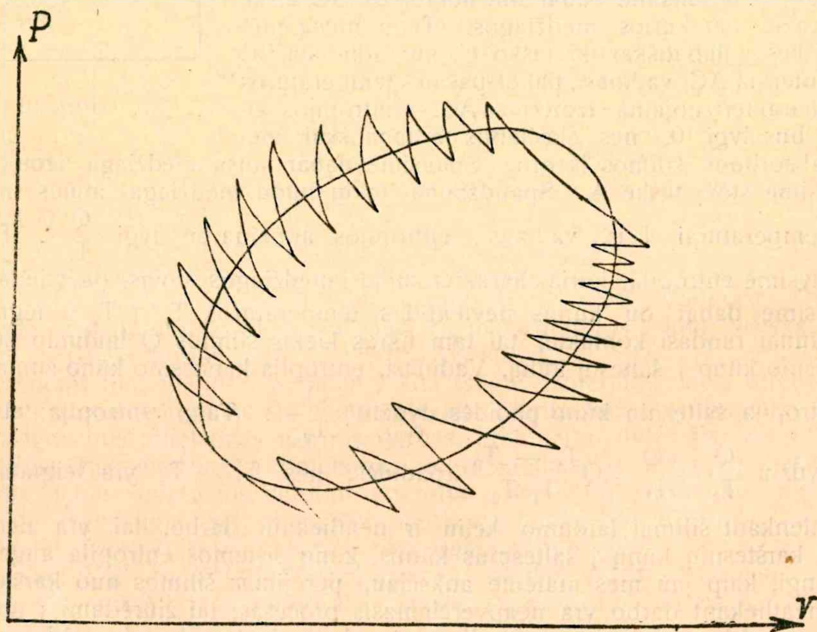
Paimsime dar pavyzdį dujų išsiskėtimo neatliekant darbo. Tai irgi bus neapverčiamasis procesas, nes skečiantis be darbo nebus jokių šilimos atmainų dujose, taip pat nebus ir temperatūros atmainų. Bet grąžinant dujas prie pirmykščio turio ir spaudimo reiks atlikti tam tikras darbas dujų atžvilgiu ir, jeigu dujos bus spaudžiamos izotermiškai, tai tokiu atveju jos atmes tam tikrą kiekį šilimos. Mes tokiu būdu sugrįšime prie pirmykščio dujų stovio, bet aplinkoje įvyks atmainos: bus išeikvotas tam tikras darbas ir aplinkai bus suteiktas tam tikras šilimos kiekis, vadinasi, procesas bus neapverčiamasis.

Dujų entropiją galima apskaityti išeinant iš Clapeyron'o lygties $dQ = C_v dT + p dv$. Adiabatiniam procesui $dQ = 0$. Taigi $C_v dT + p dv = 0$, arba $C_v \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v} = 0$. In-

tegruodami šitą lygti, mes gausime C_v ln. T + R ln. v. + const = E, jeigu mes adiabatos entropiją pažymėsime ženklu E. Iš čia mes matome, kad dujų entropija pareina nuo jų tūrio ir visiškai nepareina nuo jų spaudimo. Taigi skečiantis dujoms neatliekant darbo jų entropija padidės, nes tūris padidės. Todel ir čia neapverčiamasis procesas yra surištas su entropijos padidėjimu. Kadangi dujų difuzija irgi yra panaši į dujų išsiskėtimą neatliekant darbo, vadinasi, yra neapverčiamasis procesas, tai ir dujų difuzija visuomet yra surišta su entropijos padidėjimu.

Pagaliau priminsime čia dar, kad visur, kur veikia trynimo jėgos, mes turime neapverčiamąjį procesą, esant kuriam iš darbo susidaro šilima. Taip pat nudribus kūnui nuo augšto ir susidavus į plastingą pagrindą, dalis kūno kinetinės energijos virsta šilima, ir ta šilima nebegalima jau pasinaudoti, norint pakelti kūną iki to paties augščio, nuo kurio jis nudribo. Vadinasi, ne tik procesai surišti su trynimu, bet ir su susidavimu netobūlai elastingų kūnų, yra neapverčiamieji procesai ir yra surišti su entropijos augimu.

Bet gamtoje nėra procesų, kuriuose neveiktų trynimo jėgos, kūnų susidūrimai, difuzija ir šilimos išsiblaškymas. Vadinasi, visi realūs gamtos procesai surišti su entropijos augimu, jeigu tik entropijos funkciją galima taikinti ir neapverčiamiems procesams, nes, sakant tiksliai, entropijos sąvoka išeina iš apverčiamųjų procesų uždaros kūnų sistemos apibūdinimo.



Pieš. 92.

Pažiūrėsime dabar, kaip yra su apverčiamųjų procesų entropija. Paimsime bet kurią medžiagą ir atliksime su ja ciklo procesą, įvesdami šitą medžiagą į kontaktą su įvarių įvairiausiais šilimos šaltiniais, taip kad ji tai absorbuoja, tai atmeta šilimą, ir pagaliau grąžinsime ją prie pirmykščio stovio. Išreiškę grafiškai atliktą apverčiamą ciklą, mes gausime bet kurios formos uždarytą kreivąją, kurią atvaizduoja 92 piešinys. Mes galime sau įsivaizduoti, kad šita kreivoji sudaro ribas laužtosios linijos, kuri susideda iš eilės mažų izotermų ir adiabatų atkarpų. Pažymėsime izotermas, pradėdami iš kairės pusės ir eidami į dešinę pusę iš eilės cifromis 1, 2, 3 . . . n ir tų izotermų temperatūras T_1, T_2, T_3, . . . T_n. Atliekant procesą išilgai tų izotermų, medžiaga tai absorbuoja, tai atmeta šilimą. Pažymėsime tas šilimos atmatas ženklais dQ_1, dQ_2,

$dQ_3 \ldots dQ_n$. (Tais atvejais, kada šilima absorbuojama, mes pažymėsime ją ženklu $+$, o kada ji atmetama ženklu$-$). Skečiantis dujoms arba spaudžiant jas išilgai izotermos mes pereiname nuo vienos adiabatos į kitą adiabatą ir atitinkamos tiems perėjimams entropijos atmainos bus: $\frac{dQ_1}{T_1}, \frac{dQ_2}{T_2}, \frac{dQ_3}{T_3} \ldots \frac{dQ_n}{T_n}$.

Pažymėsime aplamai entropiją ženklu E. Tad mes turime $\frac{dQ}{T} = E$, arba $dQ = ET$.

Tegu entropija adiabatų atkarpų bus iš eilės $E_1, E_2, E_3 \ldots E_n$.

Kadangi mūsų kreivoji uždara, tai pirma izotermos atkarpa susisiekia su n-tąja atkarpa per n-tąją adiabatą. Vadinasi, entropijos atmaina pereinant nuo n-tosios adiabatos į 1-ąją išilgai pirmosios izotermos bus $\frac{dQ_1}{T_1} = E_1 - E_n$, pereinant išilgai antros izotermos bus $\frac{dQ_2}{T_2} = E_2 - E_1$; trečiajai $\frac{dQ_3}{T_3} = E_3 - E_2$ ir t. t. ir pagaliau paskutinei $\frac{dQ_n}{T_n} = E_n - E_{n-1}$. Taigi entropijos atmaina, atliekant šitą ciklinį procesą apverčiamai bus suma visų tų entropijos atmainų, kurios vyksta vykinant procesą išilgai mažų izotermų ir adiabatų atkarpų. Vadinasi, mes turėsime:

$$\frac{dQ_1}{T_1} + \frac{dQ_2}{T_2} + \frac{dQ_3}{T_3} + \ldots \frac{dQ_n}{T_n} = E_1 - E_n + E_2 - E_1 + E_3 - E_2 + \ldots E_n - E_{n-1} = 0,$$

arba trumpai $\Sigma \left(\frac{dQ}{T}\right) = 0$. Žodžiais, atlikus apverčiamą ciklinį procesą entropijos atmaina bus lygi nuliui, vadinasi, entropija nepasikeis.

Taigi pagrindan tyrinėjimų termodinaminių procesų Klausijus deda šiuos du termodinamikos dėsniu tokia redakcija:

I. Uždaros sistemos energija yra pastovus dydis Σ (E) $=$ const.

I. Uždaros sistemos entropija turi tendenciją augti: Σ (E) $\geqq$ 0. Paskutinėje lygtyje lygybės ženklas liečia tik apverčiamus procesus, vadinasi, nerealinius procesus.

Mes jau anksčiau matėme, kad uždaros kūnų sistemos energija yra funkcija spaudimo, temperatūros, cheminės sudėties, elektros potencialo ir t. t. ir gali būti apskaityta. Entropija, taip pat kaip ir energija, yra tam tikra kūnų savybė, charakteringa jų termodinaminiam elgesiui ir taip pat gali būti išreikšta kaipo funkcija spaudimo, temperatūros, cheminės sudėties ir t. t. Aplamai šita funkcija gali būti išreikšta kaipo santykis absorbuotos arba atmestos šilimos ir absolutinės temperatūros, esant kuriai įvyko ta ar kita atmaina, imant entropiją su ženklu $-$, jeigu šilima atmetama, ir su ženklu $+$, jeigu ji absorbuojama. Bet skirtumas tarp energijos ir entropijos yra tas, kad energija visgi yra dalykas prieinamas mūsų jutimų percepcijai. O entropija yra abstraktinė koncepcija tiesioginai visiškai neprieinama mūsų jutimų percepcijai, Entropijos atmaina visiškai skiriasi nuo temperatūros arba šilimos atmainų. Pavyzdžiui, einant chemijos reakcijai entropija auga, nepaisant to, kad iš aplinkos nesuteikiama reaguojantiems kūnams šilimos. Entropijos dėsnis sako, kad fizikos fenomenai savaime vyksta visuomet viena kryptimi, kuri negali būti apversta, būtent, tik tokia kryptimi, esant kuriai entropija auga. Taigi entropijos dėsnis įgalina mus spręsti apie tai, ar kūnų sistema randasi pusiausvyroje, ar ten vyksta kokios nors atmainos, ir jeigu vyksta, tai kokia prasme. Energijai pasiliekant pastoviai, kūnų sistema bus pusiausvyroje, jeigu būnant visoms galimoms sistemoje atmainoms entropija nedidėja. O jeigu nėra pusiausvyros, tai atmainos sistemoje savaime vyksta tik ta kryptimi, esant kuriai entropija didėja.

Kaip jau mes matėm, entropiją galima apskaityti tik remiantis apverčiamuoju procesu, ir pati entropijos sąvoka išeina iš apverčiamojo proceso eigos. Todel kai kuriems fizikams atrodo abejojamas dalykas taikinti entropijos sąvoką ir neapverčiamiems procesams. Bet tas yra, kad to ar kito dydžio definicija ir apskaitymas nieko bendra neturi su realiais procesais, kuriuose dalyvauja fiziniai kūnai, ar tie realiai

procesai bus apverčiamieji, ar neapverčiamieji, ir todel nėra jokio pamato apriboti entropijos funkcijos pritaikinimą tik apverčiamiems, kitaip sakant, idealiniems procesams.

Didelė vertė abiejų termodinamikos dėsnių fizikai yra ta, kad jie duoda galimumo spręsti ne tik šilimos problemas ir chemijos problemas, nes chemijos procesai dažniausiai yra surišti su šilimos atmainomis, bet ir optikos ir elektros problemas visiškai neliečiant klausimo apie tai, kas iš esmės yra šilima, arba kokia iš esmės materijos struktūra, naudojantis tik eksperimento keliu nustatytais dėsniais ir augštosios matematikos metodais. Remdamies šitais dėsniais mes turime šiandien labai tobūlą mokslą apie homogeninių ir heterogeninių sistemų pusiausvyrą; šis mokslas turi ypatingai didelės reikšmės sprendžiant chemijos problemas. Remdamies tais pačiais dėsniais mes šiandien iš anksto galime numatyti, kuria prasme versis painiausios chemijos reakcijos, nekalbant jau apie tai, kad galime tiksliai ir pilnai aprašyti painiausius chemijos procesus, ypač remdamies vadinamąja fazių taisykle, nustatyta garsaus Amerikos fiziko Williardo Gibbs'o, išeinant iš šitų dviejų termodinamikos dėsnių. Pagaliau ir turinti šiandien didelės reikšmės fizikos srityje vadinamoji kvantų teorija, kuri labai sėkmingai aprašo ir išaiškina energijos sklidimą radiacijos keliu, buvo sukurta ant termodinamikos dėsnių pagrindo.

Ir Klausijus ir Kelvinas mėgino suteikti abiems termodinamikos dėsniams tokią formą, kad galima būtų juos pritaikinti visam pasauliui. Taip, pavyzdžiui, Klausijus kalba apie viso pasaulio energijos pastovumą ir tuo pačiu laiku apie pasaulio entropijos augimą. Vadinasi, nemažėjant ir nedidėjant pasaulio energijai, visgi spontaninis pasaulio procesų bėgis veda prie entropijos augimo, vadinasi, prie šilimos kiekio didėjimo, bet jau tokiame stovyje, kuriame ji darosi neprieinama kaipo mechaniško efekto, arba darbo, ištеklius. Dalykas tas, kad vykstant energijos transformacijoms, įvairių rūšių energijos vis labiau ir labiau virsta šilima, kuri stengiasi pasiskirstyti vienodai visame pasaulyje ir visur įgyti tą pačią temperatūrą. Taigi šito spontaninio gamtos procesų bėgio išdava turi privesti pasaulį prie pilnos stagnacijos, nes pasiekus šilimai vienodą temperatūrą visame pasaulyje nebebūtų jokio galimumo gauti iš šitos šilimos mechanišką efektą arba išnaudoti ją chemiškoms transformacijoms, arba bet kurioms kitoms transformacijoms.

Bet kas čia pasakyta apie šilimą galima atkartoti ir apie kitas energijos rūšis. Bet kurios energijos rūšies kiekis išreiškiamas kaipo sandauga dviejų dydžių: energijos talpumo ir energijos įtempimo arba potencialo. Taip vandens energija išreiškiama kaipo sandauga iš vandens masės M (energijos talpumas) ir augščio H (energijos intensyvumas, arba potencialas), kuriame randasi vandens masė. Šilimos energiją mes galime išreikšti kaipo cmt. Čia cm bus šilimos talpumas, o t temperatūra, į kurią galima žiūrėti kaipo į šilimos energijos įtempimo mąstą. Dujų energija išreiškiama kaipo sandauga iš tūrio ir spaudimo: čia tūris bus energijos talpumas, o spaudimas — energijos įtempimas. Pagaliau elektros energija išreiškiama kaipo sandauga EV, kur E reiškia elektros kiekį, kuris yra proporcingas elektros talpumui, ir V reiškia elektros potencialą. Tas pats reikia pasakyti ir apie šviesos energiją ir apie chemijos energiją ir t. t.

Jeigu šilima savaime slenka visuomet nuo augštesnės temperatūros į žemesnę ir tiktai tokiomis sąlygomis atlieka išorinį darbą, vadinasi, reiškia išorinę akciją, tai ir visos kitos čia paminėtos energijos rūšis savaime transformuojasi tik viena prasme, būtent, pereidamos nuo augštesnio į žemesnį potencialą, ir tiktai energijos potencialui savaime puolant tos energijos būva darbo ištekliu ir, vadinasi, reiškia išorinę akciją. Taigi galima tvirtinti, kad negyvos gamtos procesų spontaninis bėgis galimas tik patol, pakol yra energijų potencialų skirtumai, ir kad šitas spontaninių procesų bėgis veda prie potencialų puolimo ir pagaliau prie jų išlyginimo. O išsilyginus potencialams pasiektas bus pusiausvyros, arba stagnacijos, stovis, nes tokiomis sąlygomis visokių atmainų priežastis išnyks. Sistema turės tą patį energijos kiekį, kurį turėjo iš pradžios, bet ta energija bus vienodai paskirstyta visose sistemos dalyse, bus to paties įtempimo ir, vadinasi, ta energija neturės jokios vertės kaipo darbo šaltinis. Todel antrasai termodinamikos dėsnis dažnai vadinasi energijos vertės puolimo dėsnis, nes puolant

energijos potencialui puola ir jos vertė kaipo darbo šaltinis. Šitą dėsnį, sekant lordu Kelvinu, galima dar formuluoti kaipo energijos išsklydimo, arba energijos degeneracijos, dėsnis, turint omeny, kad einant spontaniškai, savaime, energijos transformacijoms visos energijos rūšys ilgainiui virsta šilima, kuri pasiskirsto sistemoje vienodai, taip kad pagaliau susidaro vienodai temperuotų kūnų sistema, o toki sistema darbo atžvilgiu nebeturi jokios reikšmės.

Augščiau formuluotas tvirtinimas turi prasmės tik ribotai materialinei sistemai, o išplėtimas jo ant viso pasaulio, kaip tai mėgino daryti Klausijus ir lordas Kelvinas, taip pat neturi pakankamai pagrindo kaip ir išplėtimas energijos tvarumo dėsnio ant viso pasaulio, nes sąvoka visas pasaulis yra nenustatyta sąvoka. Mes nežinome, ar pasaulis turi ribas, ar ne. Jeigu pasaulis neturi ribų, tai tvirtinimas pasaulio energijos pastovumo ir pasaulio entropijos stengimosi pasiekti maksimumą neturi jokios prasmės, nes paėmus bet kurią materialinę sistemą kaipo pasaulio dalį ir, plečiant ją neribotai, prijungiant prie tos sistemos vis naujų ir naujų sistemų, didės ir energija ir entropija tokios vis labiau ir labiau plečiamos sistemos. Be to, ir ribotai uždarai materialinei sistemai entropijos dėsnis neturi absolutinės reikšmės, nes formuluodami šitą dėsnį ir Klausijus ir lordas Kelvinas eliminuoja gyvos gamtos jėgas, ypač pastarasis, griežtai pabrėždamas, kad apie gyvasties manifestacijas mes turime tiek mažai supratimo, jog neturime jokio pagrindo tvirtinti, kad gyvasties manifestacijos negalėtų išnaudoti šalčiausio aplinkos kūno šilimos kaipo darbo išteklius. Aplamai nėra pagrindo tvirtinti, kad gyvasties manifestacijos negali pavaryti gyvos gamtos spontaninių procesų atgal, kitaip sakant, negali pakelti nupuolusių energijų potencialų.

Pagaliau Williard Gibbs'as ir Boltzmann'as, apibūdindami entropijos augimo dėsnį molekulinės atominės teorijos atžvilgiu, konstatuoja, kad šitas dėsnis yra ne kas kita, kaip statistikos principų, paremtų galimumo teorijos dėsniais, pritaikinimas nematomiems molekulų ir atomų judėjimams. Šitų tyrinėtojų išvystyti statistikos metodai traktuoja entropijos principą ta prasme, kad kiekviena materialinė sistema savaime stengiasi įgyti tokią konfigūraciją, kuri, einant galimumo teorijos dėsniais, yra užvis labiau galima, turi, vadinasi, maksimumą galimumo. Abudu šitie tyrinėtojai duoda net ir formulą entropijos kaipo galimumo funkcija ($E = \ln W + C$, čia E reiškia entropiją, o W galimumą). Savaime aišku, kad augant molekulų skaičiui auga ir šitas galimumo maksimumas, bet niekuomet nepasiekia pilno absolutinio tikrumo. Taigi reikia pripažinti ribotą entropijos dėsnio reikšmę net ir fizikos srityje. Nepaisant to, šitas dėsnis kartu su energijos tvarumo dėsniu yra atlikęs puikiausią tarnybą fizikos chemijos srityje nustatant dėsnius, kurie reguluoja fizinio stovio ir cheminės sudėties atmainas. Galima tikėtis, kad ir ateityje šitas dėsnis bus galingas įrankis sprendžiant dar neišspręstas fizikos chemijos problemas.

Baigdami šitą skyrių duosime čia dar šito dėsnio formulavimą, kuris priklauso Helmholtz'ui ir kuris pasirodė labai patogus įvairiems fizikos chemijos uždaviniams spręsti. Helmholtz'as dalina visą materialinės sistemos energiją U į dvi dalis: laisvą energiją F, kuri spontaniškai transformuojasi ir, vadinasi, reiškia išorinės akcijos, ir surištą energiją, kuri teapsireiškia tik pasiliuosuojančios šilimos forma. Taigi fizikos chemijos procesų kryptį nulėmė ne visos materialinės sistemos energijos variacijos, o tik laisvosios energijos variacijos. Vadinasi, spontaninis gamtos proceso bėgis, anot Helmholtz'o, eina laisvosios energijos mažėjimo ir surištos energijos didėjimo prasme. Nesunku matyti, kad Helmholtz'o redakcija tik savo forma tesiskiria nuo Klausijaus antrojo termodinamikos dėsnio redakcijos. O esminė mintis yra ta pati.

Pažymėję visos energijos variaciją dU ir išorinį darbą dA mes turėsime: 1) adiabatiniam procesui $dU = dA$; 2) izoterminiam procesui $dF = dA$. (Čia dF reiškia laisvosios energijos variaciją.) Kadangi vykstant izoterminiam procesui absorbuotą šilimos kiekį mes galime išreikšti kaipo sandaugą entropijos E ir absolutinės temperatūros T, tai bet kuriam izoterminiam fiziniam cheminiam procesui santykis tarp visos energijos, laisvosios energijos ir surištosios energijos gali būti išreikštas šia Helmholtz'o lygtimi: $F = U - T.E$ (čia visos energijos išreikštos šilimos vienetais).

Diferencijuodami šitą lygtį gausime $dF = -E.dT$, arba $\frac{dF}{dT} = -E$, žodžiais, entropijos atmaina gali būti išreikšta kaipo santykis laisvosios energijos variacijos ir temperatūros variacijos tokiam fizikos chemijos procesui, kuris surištas su temperatūros variacijomis, vadinasi, kuris nėra izoterminis.

Taigi neizoterminiams fiziniams cheminiams procesams Helmholtz'o lygtis įgauna tokį pavidalą: $F = U + T\frac{dF}{dT}$, nes $T.E = -T\frac{dF}{dT}$. Čia $T\frac{dF}{dT}$ reiškia surištosios energijos kiekį, kuris visuomet turi kitą ženklą kaip laisvoji energija.

Prie šitos Helmholtz'o lygties mums teks dar grįžti tolimesniuose fizikos kurso skyriuose, ypač apibūdinant santykius tarp chemijos energijos ir elektros energijos.

24 §. Permanentinių dujų suskystinimas. Darbai Colladon'o, Naterer'io, Pictet'o, Olszewski'o ir Wróblewski'o. Joule'io ir Thomson'o tyrinėjimai šilimos efektui nustatyti skečiantis dujoms neatliekant darbo. Dinaminis principas dujoms suskystinti. Linde'o mašina skystam orui gaminti. Dewar'o ir Kammerlingh Onnes'o pastangos vandeniliui ir helijui suskystinti. Žemų temperatūrų reikšmė mokslui ir praktikai.

Mes jau žinome, kad perkaitinti garai galima suskystinti dviem keliais: arba spaudžiant juos izotermiškai pakol bus pasiektas sočių garų stovis, arba vėsinant juos pakol bus pasiekta temperatūra, esant kuriai duotas garų spaudimas pasidarys sočių garų spaudimas (pakol bus pasiektas rasos taškas). Aišku, kad dar greičiau mes pasieksime sočių garų stovį eidami abiem keliais: spausdami ir vėsindami garus tuo pačiu laiku. Kadangi į dujas buvo žiūrima kaipo į perkaitintus garus, tai visi mėginimai suskystinti dujas ir buvo daromi einant šitais abiem keliais. Pirmutinis tyrinėtojas, kuris suskystino visą eilę dujų, buvo didelis anglų mokslininkas Mykolas Faraday'us. Tai buvo 1826 metais. Jis paėmė storą stipraus stiklo vamzdį ir sulenkė jį U-pavidalu. Į vieną šito vamzdžio šaką buvo įdėtas tam tikras kiekis $AgCl$ (sidabro chloridas) ir kurį laiką per šitą vamzdį buvo leidžiamas sausas ammoniakas NH_3, kuris jungiasi su sidabro chloridu, sudarydamas kompleksinį junginį. Paskui tas vamzdžio galas buvo užlydytas, kompleksinis junginys buvo nustumtas į šitą galą, oro siurblio pagalba vamzdis buvo evakuotas ir kitas galas užlydytas. Įdėjus vamzdį į štatyvą sulenkimu augštyn, tuščias vamzdžio galas buvo įdėtas į indą su druskos ir sniego mišiniu. Kaitinant lempos pagalba tą vamzdžio galą, kuriame buvo kompleksinis sidabro chlorido ir ammoniako junginys, tas junginys skaldėsi, ir vamzdis vis labiau ir labiau buvo pripildomas ammoniako, kurio spaudimas augant jo kiekiui irgi augo. Taigi įdėtoje į šaldomąjį mišinį vamzdžio šakoje darėsi ammoniakas didelio spaudimo ir žemos temperatūros ir tokiu būdu buvo pasiektas ammoniako sotus stovis, ir pagaliau ammoniakas buvo suskystintas. Išėmus vamzdį iš šaldomojo mišinio atvėsintoje jo šakoje buvo susitaupęs žymus skysto ammoniako kiekis. Tuo pačiu būdu Faradey'us suskystino ir visą eilę kitų dujų, kaip antai: SO_2, $(CN)_2$, Cl_2, N_2O, CO_2. Ir ne tik suskystino, bet modifikavęs savo eksperimentą, nustatė net spaudimus ir temperatūras, esant kurioms įvyko suskystinimas. Taip 0^0 temperatūra žemiau pažymėtos dujos virsta skystimais esant greta parodytiems spaudimams:

SO_2	—	1,5	atmosferų
$(CN)_2$	—	2,4	„
Cl_2	—	3,7	„
NH_3	—	4,2	„
N_2O	—	32	„
CO_2	—	35	„

Vėliau šitie eksperimentai buvo atkartoti kitų tyrinėtojų, kuriems pasisekė suskystinti dar visą eilę kitų dujų. Bet visos pastangos suskystinti dideliais spaudimais deguonį,

azotą, anglies viendeginį, azoto viendeginį, metaną ir vandenilį nuėjo niekais. Ilgą laiką nieko negalima buvo su tomis dujomis padaryti. Taip Colladon'as, Paryžiuje, atvėsinęs orą iki — 30° veikė jį spaudimu 400 atm., o Naterer'is, Vienoje, pasiekė net spaudimą iki 3000 atmosferų. Bet nei vienam, nei kitam nepasisekė gauti net pėdsakų skysto oro. Taigi iki 1877 metų visos šitos dujos įgijo reputacijos kaipo permanentinės dujos ta prasme, kad jų negalima pervesti į skystą stovį.

Tuo tarpu, kaip jau mes pasipažinome 17 §, Regnault'as, Amagat'as, Andrews'as ir kiti smulkiai ir nuodugniai ištyrė įvairių dujų savybes, daugiausia dujų apsilenkimo su Boyle-Mariott'o dėsnio atžvilgiu. Šitie tyrinėjimai davė geresnį supratimą dujų prigimties, ypač tyrinėjimai Andrews'o, kuris, kaip jau mes žinome, 1869 metais konstatavo, kad viršum tam tikros temperatūros kiekviena medžiaga gali būti tiktai dujiškame stovyje ir jokiais spaudimais, kad ir be galo dideliais, negali būti suskystinta. Tai bus vadinamoji krizio temperatūra, esant kuriai kiekviena medžiaga charakterizuojama tam tikro spaudimo — krizio spaudimo ir tam tikro tūrio — krizio tūrio. Išeinant iš Van der Waals'o lygties galima išreikšti šituos kritiškus dydžius Van der Waals'o konstantų pagalba, kaip tai padaryta 17 §. Taigi nepasisekus dideliais spaudimais suskystinti vadinamąsias permanentines dujas, fizikai suprato, kad reikia tas dujas pirmiausia atvėsinti šiek tiek žemiau jų krizio temperatūros ir tada tam tikru spaudimu galima bus jau jas suskystinti, kaip tai galima padaryti su nepermanentinėmis dujomis, pavyzdžiui, su anglies rūgštimi, kurios krizio temperatūra, kaip jau mes matėme, 32° ir kuri, esant temperatūrai 31° ir spaudimui 72 atmosferų, gali būti suskystinta, kas ir buvo konstatuota minėto Andrews'o. Esant žemesnei temperatūrai, sakysim, 15°, pakanka spaudimo 52 atmosferų, o esant 0° pakanka ir 35 atmosferų, norint suskystinti anglies rūgštį. O esant temperatūrai — 78° anglies rūgštis gali būti suskystinta tik 1 atmosferos spaudimu, nes tai bus normalinė anglies rūgšties virimo temperatūra. Iš paties būdo permanentinių dujų, prie kurių reikia priskaityti ir oras, aišku, kad jų krizio temperatūra yra labai žema. Taigi kad atvėsintų smarkiai orą buvo griebtasi tokių priemonių. Oras buvo smarkiai spaudžiamas ir tuo pačiu laiku šaldomojo mišinio pagalba vėsinamas iki — 30°. Taip darė mėginimus su oru 1875 metais Sorbonos profesorius Cailletet'as. Pavartotas jo aparatas buvo panašus į aprašytą jau anksčiau Andrews'o aparatą. Vadinasi, oras buvo uždarytas stipriame iš storo stiklo vamzdyje gyvojo sidabro pagalba ir buvo spaudžiamas to paties gyvojo sidabro pagalba iki 300 atmosferų. Tuo pačiu laiku jis buvo vėsinamas iki —30°. Vamzdis viršuje buvo uždarytas bėgtuvo pagalba. Pasukus bėgtuvą taip, kad susidarytų susisiekimas tarp vamzdžio turinio ir atmosferos, suspaustas oras staiga, adiabatiškai skėtėsi. O toksai išsiskėtimas, kaip mes jau žinome, surištas su šilimos absorpcija ir kaipo išdava oro temperatūra vamzdy puolė tiek žemai, kad Cailletet'as aiškiai pastebėjo vamzdyje rūką, vadinasi, skystą orą nedideliam kieky. Panašų eksperimentą Cailletet'as atkartojo ir su kitomis permanentinėmis dujomis ir konstatavo rūko pasirodymą. Vadinasi, pasinaudojęs adiabatiniu išsiplėtimu smarkiai suspaustų dujų, Cailletet'as sugebėjo atvėsinti permanentines dujas žemiau jų krizio temperatūros. Apie šitą būdą, vadinamąjį dinaminį metodą, smarkiai atvėsinti permanentines dujas, Cailletet'as 1877 metais padarė pranešimą Paryžiaus Mokslo Akademijai ir demonstravo permanentinių dujų rūką. Tais pačiais metais ir tai pačiai Akademijai padarė pranešimą apie suskystinimą permanentinių dujų Ženevos Universiteto profesorius Pictet, kuriam pasisekė dar smarkesniais spaudimais ir smarkesniu vėsinimu gauti orą, deguonį, azotą ir kitas permanentines dujas skystame stovyje ir tokiam kieky, kad jau galima buvo šitą naujieną demonstruoti didelei auditorijai.

Vėliau, vadinasi, jau 1880 metais tyrinėjimai, surišti su permanentinių dujų suskystinimu, koncentruojasi Krokuvos Universitete. To universiteto fizikos profesoriai Olszewski's ir Wróblewski's yra atlikę šitoje srityje didelį darbą. Savo eksperimentuose jie remiasi Andrews'o nurodymais ir Cailletet'o ir Pictet'o darbais ir išdirbo vadinamąjį kaskadų metodą permanentinėms dujoms suskystinti; šis metodas yra sujungimas dinaminio ir statinio metodų ir remiasi vartojimu iš eilės skystų dujų, kurios verda vis žemesnėmis ir žemesnėmis temperatūromis. Taip sakant, šitas metodas žengia laipsniais

vis prie žemesnių ir žemesnių temperatūrų ir todel vadinamas kaskadų metodu. Olszewski's ir Wróblewski's pasidirbo ir tam tikrą aparatą, kad galėtų gauti žymius kiekius skystų dujų.

Paaiškinsime čionai šitų dviejų tyrinėtojų metodą, konkrečiai nurodydami, kaip iš eilės galima eiti vis prie žemesnių ir žemesnių temperatūrų. Jų aparatas susideda iš plieno cilindro su smarkiai suspaustu ir skystu etilenu C_2H_4, kuris vėsinamas įdėjus cilindrą į druskos ir ledo mišinį (vadinasi, iki — 22°). Plieno cilindras sujungtas su vario vyniokliu iš daugybės vingių, tas vynioklis įdėtas į mišinį kietos anglies rūgšties ir eterio. Kieta anglies rūgštis sulyginti lengva gauti nusipirkus cilindrą su skysta anglies rūgštimi, kokie vartojami aludėse, užmovus ant šito cilindro snapo storos drobės maišiuką ir atidarius bėgtuvą: suspausta skysta anglies rūgštis taip smarkiai veržiasi tada iš cilindro į maišiuką ir taip smarkiai garuoja, kad absorbuojama didelis kiekis slaptosios garavimo šilimos, ir todel dalis anglies rūgšties atvėsta taip smarkiai, jog virsta kieta anglies rūgštimi balto sniego pavidalu. Jau mes anksčiau paminėjome, kad skysta anglies rūgštis verda — esant 78° ir normaliniam spaudimui. O sumaišę kietą anglies rugštį su eteriu mes gausime temperatūrą — 80°. Taigi Olszewski'o ir Wróblewski'o vynioklis randasi tynėje, kurios temperatūra — 80°. Atsukus bėgtuvą cilindro etilenas smarkiai skečiasi ir, vadinasi, vėsta, eidamas per vynioklį. Viena todel, kad vynioklio tynės temperatūra — 80°, o antra todel, kad mes čia turime adiabatinį etileno išsiskėtimą. Tokiomis sąlygomis etileno temperatūra puola iki — 105°. Esant šitai temperatūrai etilenas verda esant normaliniam spaudimui. Toliau iš vynioklio etilenas patenka į stiklo recipientą, iš kurio evakuojamas oras, taip kad tame recipiente susidaro spaudimas tik apie 10 m/m. gyvojo sidabro stulpo. Vadinasi, čia etilenas verda jau esant smarkiai sumažintam spaudimui ir vyksta dar tolimesnė slaptos garavimo šilimos absorpcija. Taigi pagaliau tuo būdu recipiente nusistato temperatūra apie — 150°, ši temperatūra jau yra žemesnė, kaip oro krizio temperatūra (— 130°), deguonio (— 118°), azoto (— 144°). Į šitą recipientą įlydytas stiklo vamzdis sujungtas su rezervuaru, kuriame randasi skystinamos dujos, sakysime, oras. Taigi oras, varomas į šitą vamzdį, atvėsinamas ten žemiau krizio temperatūros ir duodant jam adiabatiškai išsiskėsti virsta skystimu ir susitaupo vamzdyje gana žymiame kiekyje.

Savaime suprantama, kad gavus skystą orą galima juo pasinaudoti, norint gauti dar žemesnes temperatūras, duodant, sakysime, tam orui virti esant sumažintam spaudimui. Tokiu būdu Wróblewski'ui pasisekė pasiekti temperatūrą apie — 211° (tai bus oro virimo temperatūra būvant spaudimui apie 10 m/m. gyvojo sidabro stulpo). Tokiu būdu Olszewski'ui ir Wróblewski'ui pasisekė suskystinti visas permanentines dujas, išskiriant tik vandenilį. Vandenilį Wróblewskis mėgino suskystinti vartodamas ta patį kaskadų metodą ir verdantį orą esant mažam spaudimui. Bet jam nepasisekė net ir rūko vandenilio pamatyti, nes, kaip vėliau buvo konstatuota, krizio vandenilio temperatūra yra labai žema, būtent, — 238°.

Olszewski'o ir Wróblewski'o darbų prasmė ne tik ta, kad jie parodė galimumą gauti kuone visas permanentines dujas skystame stovyje ir tokius jų kiekius, kurių pakanka įvairiems laboratorijos reikalams, bet ir ta, kad jie, darydami eksperimentus, darė matavimus ir tiksliai nustatė krizio temperatūras visai eilei permanentinių dujų. Užbaigdami jų darbų aprašymą paminėsime čia dar, kad Wróblewski's, besidarbuodamas su metanu, vienu iš sunkiai suskystinamų dujų, nustojo gyvasties sprogstant aparatui.

Taip buvo XIX šimtmečio pabaigoj. Nuo Olszewski'o ir Wróblewski'o laikų žymiai sustiprėjo susidomėjimas mokslininkų ir technikų ypač skystu oru ne tik gavimo žemų temperatūrų atžvilgiu, bet ir atžvilgiu pigaus būdo gaminti deguoniui, reikalingam įvairiems technikos procesams. Todel ir mokslininkai ir technikai ieškojo lengvesnio ir pigesnio būdo gaminti skystą orą dideliu maštabu, taip kad galima būtų sutverti skysto oro pramonę. Šitą uždavinį išsprendė 1898 metais Miuncheno Politechnikos profesorius inžinierius Lindė iš vienos pusės ir anglas chemikas W. Hampson'as iš kitos pusės. Kad suprastume Lindės mašinos skystam orui pagaminti veikimą, grįšime

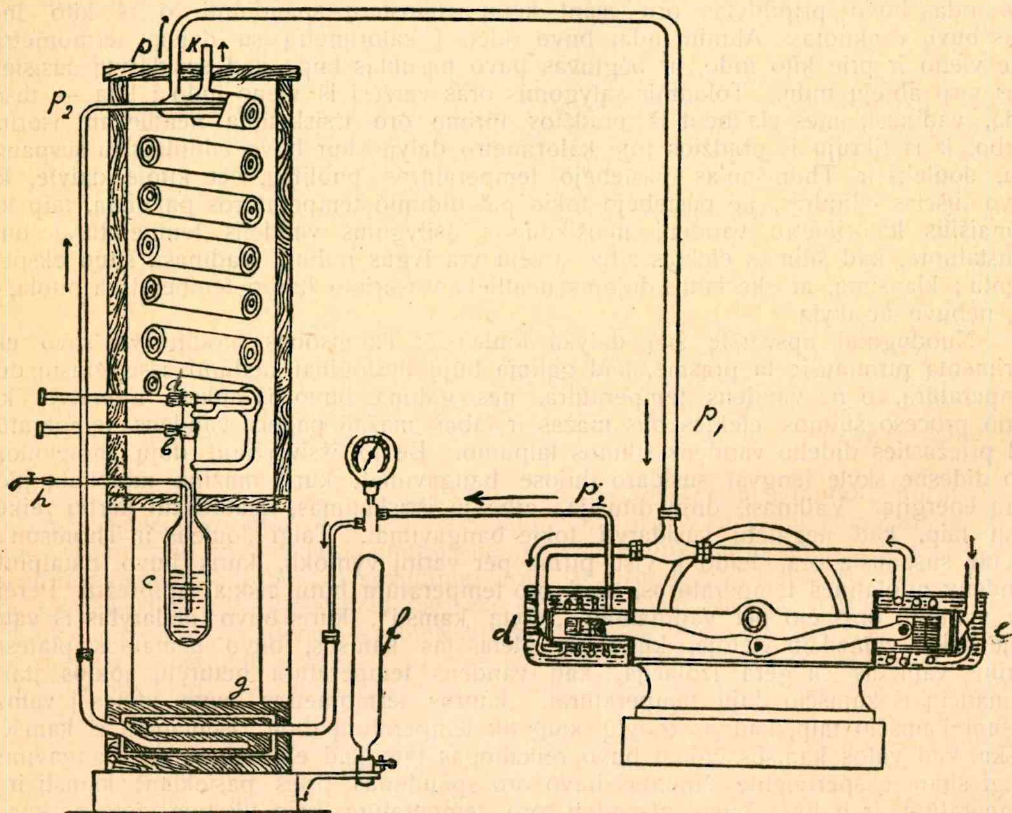
prie adiabatinio dujų išsiplėtimo. Dar XIX šimtmečio vidury garsus Joule'is ir nemažiau garsus Williamas Thomson'as pastatė sau klausimą, ar skečiantis dujoms atliekamas vidujinis darbas, vadinasi, prieš dujų molekulų kohezijos jėgas, ar ne. Jeigu tarp dujų molekulų veikia kohezijos jėgos, tai joms skečiantis adiabatiškai dalis jų šilimos bus išeikvota darbui atlikti prieš kohezijos jėgas ir, vadinasi, temperatūra turės šiek tiek nupulti. Antra vertus, jeigu pasisektų konstatuoti temperatūros puolimą, tai iš to puolimo galima būtų spręsti apie kohezijos jėgų didumą. Kad dujoms skečiantis adiabatiškai temperatūra žymiai puola, buvo žinoma senai, bet tas puolimas yra dujų atlikto išorinio darbo išdava. Norint išspręsti klausimą apie vidujinį darbą, reikėjo eliminuoti tas išorinis darbas, ir todel Joule'is ir Thomson'as atliko tokį eksperimentą. Jie paėmė du metalinius indus cilindrų pavidalo, sujungtus kanalu. Per vidurį kanalo buvo bėgtuvas su skyle, kurio pagalba galima buvo padaryti susisiekimas tarp abiejų indų. Pasukus bėgtuvą taip, kad panaikintų susisiekimą tarp abiejų indų, vienas indas buvo pripildytas oru esant kelių atmosferų spaudimui, o iš kito indo oras buvo evakuotas. Abudu indai buvo įdėti į kalorimetrą su dviem termometrais prie vieno ir prie kito indo, ir bėgtuvas buvo pasuktas taip, kad susidarytų susisiekimas tarp abiejų indų. Tokiomis sąlygomis oras veržėsi iš vieno indo į kitą — tuščią indą, vadinasi, mes čia bent iš pradžios turime oro išsiskėtimą neatliekant išorinio darbo. Ir iš tikrųjų iš pradžios toje kalorimetro dalyje, kur buvo cilindras su suspaustu oru, Joule'is ir Thomson'as pastebėjo temperatūros puolimą, bet kitoje dalyje, kur buvo tuščias cilindras, jie pastebėjo tokio pat didumo temperatūros pakilimą, taip kad pamaišius kalorimetro vandenį maišikliu ir išsilyginus vandens temperatūrai buvo konstatuota, kad šilimos efektas šituo atveju yra lygus nuliui. Vadinasi, šituo eksperimentu į klausimą, ar skečiantis dujoms neatliekant išorinio darbo temperatūra puola, ar ne, nebuvo atsakyta.

Nuodugniai apsvarstę šitą dalyką Joule'is ir Thomsonas modifikavo savo eksperimentą pirmiausia ta prasme, kad galima būtų tiesioginai matuoti išsiskėtusių dujų temperatūrą, o ne vandens temperatūrą, nes galima buvo iš anksto numatyti, kad tokio proceso šilimos efektas bus mažas ir labai mažai pakeis vandens temperatūrą del priežasties didelio vandens šilimos talpumo. Be to, išsiveržiant dujų molekuloms pro didesnę skylę lengvai susidaro dujose bangavimai, kurie mažina molekulų judėjimų energiją. Vadinasi, dujų difuzija, arba jų išsiskėtimas, neatliekant darbo reikėjo vesti taip, kad negalėtų susidaryti tokie bangavimai. Taigi Joule'is ir Thomson'as, paėmę suspaustą orą, leido jį visų pirma per varinį vynioklį, kuris buvo patalpintas vandeny nuolatinės temperatūros, kad oro temperatūra būtų aiškiai apibrėžta. Perėjęs per vynioklį oras ėjo per vadinamąjį „akytą kamštį", kuris buvo padarytas iš vatos. Toje stiklo vamzdžio vietoje, kur buvo įdėtas tas kamštis, buvo užmautas platesnis varinis vamzdis su gera izolacija, kad vandens temperatūra neturėtų jokios įtakos išeinančių iš kamščio dujų temperatūrai. Jautrus termometras buvo įdėtas į vamzdį viršum kamščio taip, kad jis rodytų kaip tik temperatūrą dujų, išeinančių iš kamščio. Aišku, kad vatos kamštis čionai buvo reikalingas tam, kad eliminuotų oro bangavimus. Taigi šitam eksperimente žinomas buvo oro spaudimas prieš pasiekiant kamštį ir jo temperatūrą, ir galima buvo atskaityti oro temperatūrą kaip tik toje vietoje, kur jis išeina iš kamščio ir kur jis kaip tik staiga plečiasi, pereidamas nuo spaudimo p vinioklyje prie mažesnio išorinio spaudimo. Šituo eksperimentu, kuris žinomas fizikoje kaipo Joule'io ir Thomson'o „akyto kamščio" eksperimentas, buvo konstatuota, kad plečiantis dujoms be išorinio darbo atlikimo, temperatūra truputį puola, ir kad tas puolimas yra mažesnis esant augštoms temperatūroms ir didesnis esant žemoms temperatūroms (aplamai jis yra atvirkščiai proporcingas dujų absolutinės temperatūros antrajam laipsniui). Savaime suprantama, kad tas puolimas bus juo didesnis, juo didesnis bus spaudimo puolimas. Taip orui, esant spaudimų skirtumui 1 atmosferai, Joule'is ir Thomson'as konstatavo žemiau paduotus temperatūros puolimus įvairioms temperatūroms:

Prie 7° — 0,263°
„ 26° — 0,229°
„ 50° — 0,209°.

Anglies rūgščiai esant 8° temperatūrai jiedu konstatavo temperatūros puolimą 1,233°. Bet vandeniliui konstatuota temperatūros pakilimas, plečiantis jam neatliekant išorinio darbo, būtent, 0,039°.

Vadinasi, jeigu imti orą, sakysime, suspaustą iki 200 atmosferų ir duoti tam orui staiga išsiskėsti iki 1 atmosferos, tai vien tik del priežasties vidujinio darbo atlikimo tokio oro temperatūra nupuls 50°. Jeigu dabar atvėsintą tokiu būdu orą vėl suspausti cilindre, kuris randasi šaldomajam mišiny, ir vėl duoti išsiskėsti, tai temperatūra nupuls vėl 50°, vadinasi, 100° jau bus žemesnė kaip oro pradžios temperatūra. Atkartojus tokį suspaudimą, atimant suspaudimo šilimą šaldomuoju mišiniu ir išsiskėtimą kelis sykius, bus ne tik pasiekta, bet ir peržengta oro krizio temperatūra ir pagaliau bus pasiekta tokia žema temperatūra, kuria oras virs skystimu esant spaudimui truputį didesniam kaip 1 atmosfera.



Pieš, 93.

Šita maža šilimos absorpcija surišta su vidujinio darbo atlikimu prieš kohezijos jėgas, konstatuota Joule'io ir Thomson'o eksperimentais XIX šimtmečio vidury, inžinierius Lindė 1898 metais padėjo pagrindan vadinamojo regeneratyvaus proceso skystam orui gaminti fabrikos maštabu. 93 piešinys atvaizduoja Lindės mašiną skystam orui gaminti Iš tos mašinos aprašymo bus matyti, kaip susideda maži temperatūros puolimai eilėj adiabatinių suspausto oro išsiskėtimų ir kaip pagaliau mašinai veikiant kokį 1/4 valandos ima rinktis recipiente vis daugiau ir daugiau skysto oro. Su vidutine Lindės mašina, varomąja varikliu 3 arklių jėgos, galima per valandą pagaminti visas litras skysto oro. Kiekviena Lindės mašina turi dvigubo veikimo siurblį, parodytą, iš

dešinės 93 piešinio pusės. Tas siurblys turi du cilindrus: vienas e siurbia orą ir, suspausdamas jį iki 16 atmosferų, perduoda jį į kitą cilindrą d, kuris suspaudžia orą iki 200 atmosferų ir varo jį pirmiausia per vadinamąjį refrigeratorių, arba vėsintoją, g. Ir cilindre e, kuris siurbia orą, ir kompresoriuje d, kuris jį suspaudžia, oras varomas per varinius vynioklius, apsiaustus šaltu vandeniu. Tarp kompresoriaus d ir refrigeratoriaus g randasi vadinamasis separatorius f, kur atvėsintas šaltu vandeniu oras dalinai pasiliuosuoja nuo savo drėgnumo: drėgnumas renkasi pavidalu skysto vandens separatoriuje f ir tas vanduo kartas nuo karto nuleidžiamas per bėgtuvą, parodytą separatoriaus apačioj. Vamzdis p_2, per kurį suspaustas oras eina į refrigeratorių, sujungtas su manometru, kuris rodo oro spaudimą.

Refrigeratorius g irgi susideda iš vynioklio, įdėto į dėžę su ledo ir druskos mišiniu. Tame refrigeratoriuje oras galutinai pasiliuosuoja nuo savo drėgnumo ir žymia dalimi nuo anglies rūgšties, kas svarbu, nes skystame ore anglies rūgštis bus kietame stovyje, ir jeigu jos bus daug, tai ji gali užkimšti kanalus ir sustabdyti mašinos veikimą.

Iš refrigeratoriaus g vamzdžiu p_2 suspaustas ir jau atvėsintas dalinai oras patenka į svarbiausiąją mašinos dalį, būtent, į vario vynioklį, susidedantį iš trijų koncentrinių (įdėtų vienas į kitą) vamzdžių. Tasai trigubas vynioklis susideda iš didelio skaičiaus vingių. Iš pradžios oras iš refrigeratoriaus g patenka į patį vidurinį vynioklio vamzdį ir slenka tuo vamzdžiu žemyn iki bėgtuvo d, kurį pasiekus didžioji oro dalis, apie $^4/_5$, patenka į tarpą tarp vidurinio vynioklio vamzdžio ir antrojo vamzdžio. Čionai tas oras skečiasi adiabatiškai nuo 200 iki 16 atmosferų ir pagaliau per vamzdį p_1 grįžta į kompresorių d. Taigi skečiantis to oro temperatūra nupuola ir, vadinasi, kompresorius dabar spaus jau šaltesnį orą kaip pirmą sykį, nepaisant to, kad prie to oro prisidės dalis oro iš siurblio e. Taigi vėsinimas oro čia bus sustiprintas dar tuo, kad oras, kuris slenka viduriniu vynioklio vamzdžiu žemyn, bus dar vėsinamas oru, kuris plečiasi adiabatiškai tarpe tarp vidurinio vamzdžio ir antrojo vamzdžio. Kadangi perėjęs per šitą tarpą oras neišmetamas laukan, o grįžta į kompresorių, tai antrą sykį slinkdamas žemyn viduriniu vamzdžiu ir plėsdamasis tarpe tarp vidurinio ir antrojo vamzdžių, atvės dar smarkiau ir t. t. Vadinasi, Lindės mašinos konstrukcija tokios rūšies, kad čia mes turime akumuliaciją eilės nedidelių adiabatinių atvėsimų, kurie pagaliau duoda labai žymų efektą. Kadangi čia mes turime eilės mažų efektų akumuliaciją, tai visas šitas procesas ir vadinasi regeneratyvus procesas, nelyginant kaip dinamo mašinoje mes turime akumuliaciją eilės mažų elektromagnetinių veikimų, taip kad pagaliau gauname labai žymų elektromagnetinį efektą. Taigi apie $^4/_5$ dalis oro, perėjusio per vynioklį, grįžta į kompresorių d. Čia tas oras papildomas oru iš šiurblio e ir vėl varomas per vynioklį ir t. t.

Padirbus mašinai kurį laiką, apie 10—15 minučių, oras, kuris skečiasi adiabatiškai tarp vidurinio ir antrojo vynioklio vamzdžio, atvėsta žemiau savo krizio temperatūros. Dabar kartas nuo karto atidaromas bėgtuvas b, kuris duoda galimumo to oro daliai (apie $^1/_5$ dalį) išeiti į stiklo recipientą c su dvigubais šonais. Iš tarpo tarp tų dviejų indo c šonų oras evakuotas. Tai padaryta tam, kad būtų sutrukdytas kuo labiau išsiveržimas šilimos į tą indą c radiacijos keliu iš aplinkos. Indas c yra tiesioginiame susisiekime su išoriniu vynioklio vamzdžiu, kuris susisiekia iš savo pusės su atmosfera. Vadinasi, oras, pereidamas iš tarpo tarp vidurinio vynioklio vamzdžio ir antrojo vamzdžio į recipientą c ir į išorinį vamzdį, dar skečiasi adiabatiškai nuo 16 iki 1 atmosferos. Kadangi jau prieš tai jis atvėsintas žemiau krizio temperatūros, tai vykstant šitam paskutiniam adiabatiniam išsiskėtimui dalis oro pereina į skystą stovį ir drumsto skystimo pavidalu renkasi recipiente c. Kada to skysto oro recipiente susirinks pakankamai, tai atidaromas bėgtuvas h, ir kadangi skysto oro garų spaudimas recipiente c yra didesnis kaip atmosferos spaudimas, tai tas oras ir nuteka į tam tikrą indą, pastatytą po bėgtuvu h. Paleidus tokią mašiną galima dirbti su ja ištisas valandas ir pagaminti keletą ir net keliolikąlitrų skysto oro. Tačiau mašina reikalinga yra uolios priežiūros, nes atsitinka, kad kieta anglies rūgštis ir ledas užkemša kanalus ir tada mašina reikia sustabdyti ir prapūsti ją. Aplamai padirbėjus su ją kelias valandas reikią

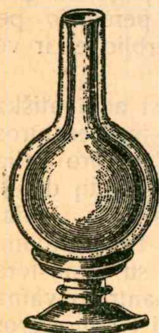
ją gerai išvalyti. Tokiu tik būdu tegalima palaikyti ją gerame stovyje ir gaminti orą be jokių trūkumų, kada yra reikalas.

Lindė manė, kad jo mašina dirba išimtinai Joule'io — Thomson'o efektu, akumuluodama šitą efektą, ir temperatūros puolimo apskaitymui naudojasi Joule'io — Thomson'o lygtimi $dt = 0{,}276\ (P - p) \left(\frac{273}{T}\right)^2$. Čia dt reiškia temperatūros puolimą, P — oro spaudimą prieš išsiskečiant adiabatiškai, p — oro spaudimą išsiskėtus adiabatiškai ir T — absolutinę oro temperatūrą prieš išsiskečiant adiabatiškai. Mūsų aprašytame pavyzdyje $P - p = 200 - 16 = 184$ ir $t = 273 - 22 = 251$ (-22^0 ledo ir druskos mišinio temperatūra). Taigi temperatūros puolimas tik vienam adiabatiniam išsiskėtimui bus lygus $0{,}276.184. \left(\frac{273}{251}\right)^2 = 60^0$. Vadinasi, tik vienu adiabatiniu išsikėtimu oras pasieks temperatūrą $-22^0 - 60^0 = -82^0$.

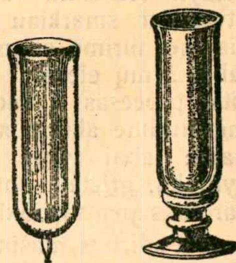
Bet reikia pasakyti, kad Pictet nepripažįsta šitos teorijos ir mano, kad Lindės mašina dirba ne Joule'io ir Thomson'o efektu, akumuluodama šitą efektą, bet paprastu adiabatiniu oro išsiskėtimu, atlikdama darbą prieš atmosferą. Kalbėdami apie pritaikinimą pirmojo termodinamikos dėsnio adiabatiniam procesui (žiūr. 20 §) mes jau apskaitėme, kad suspaudus orą taip, kad jo tūris sumažėtų dusyk, oro temperatūra turi pakilti 87⁰. Vadinasi, davus orui išsiplėsti adiabatiškai taip, kad jo tūris padidėtų dusyk, oro temperatūra nupuls 87⁰.

Nesigilindami į šitą ginčą Lindės su Pictet'u, mes konstatuosime čia tik, kad Lindės mašina šiadien yra tobūliausias aparatas gaminti skystam orui dideliu maštabu ir turint skystą orą naudotis juo, darant įvairius eksperimentus ir tyrinėjimus esant žemoms temperatūroms. Taigi šita prasme Lindės išradimą reikia pripažinti turinčiu didelės reikšmės pirmiausia mokslo srityje. Bet kaip pamatysime vėliau, ir pramonės srityje Lindės mašina vaidina šiandien nemažą vaidmenį.

Skysto oro temperatūra yra apie -200^0, ir pilti tokį skystimą į paprasto stiklo indą negalima, nes toksai indas tuojau subirės į lustelius. Taip pat negalima paprastame inde laikyti skystą orą. Garbė išradimo indų, kuriuose galima laikyti skystas oras ir kurių pagalba galima manipuliuoti su skystu oru, taip kaip manipuluojama su paprastu skystimu, priklauso Prancūzijos fizikui d'Arsonval'iui ir anglų chemikui Dewar'ui. 94 ir 95 piešiniai atvaizduoja vadinamuosius Dewar'o indus iš stiklo skystam orui laikyti: pirmasai piešinys atvaizduoja Dewar'o kolbą, o antrasai Dewar'o stiklą ir taurę. Kaip matyti iš piešinio, šitie indai gaminami iš stiklo su dvigubomis sienomis, iševakuojant visą orą iš tarpo tarp indo dviejų sienų. Kadangi tuštuma yra šilimos nelaidininkas, tai ji sustabdo perdavimą šilimos laidumo keliu, bet nesustabdo perdavimo šilimos radiacijos keliu. Norint sutrukdyti kuo labiau ir perdavimą šilimos ir radiacijos keliu, Dewar'o indo abidvi sienos, kurios prieina prie tuštumos, pasidabrinamos. Lygus sidabro paviršius atmuša šilimos spindulius, taip pat kaip sidabro veidrodis atmuša šviesos spindulius. Savaime suprantama, kad pasidabrinimas turi būti atliktas prieš evakuojant orą iš tarpo tarp abiejų indo sienų. Įpiltas į tokį indą skystas oras laikosi gana ilgai todel, kad garuojant jam absorbuojasi daug šilimos ir tokiu būdu, taip sakant, automatiškai palaikoma žema temperatūra, esant kuriai oras gali būti skystame stovyje. Reikia tik vengti užkimšti indą su skystu oru kamščiu, nes tada lengvai gali įvykti sprogimas. Norint sumažinti skysto oro garavimą nuo paviršiaus, galima užkimšti indą su skystu oru vatos gabalu, per kurį visgi oras galės garuoti nors ir ne



Pieš. 94.





Pieš. 95.

taip smarkiai kaip nuo paviršiaus visiškai atdarame inde. Pilant skystą orą iš vieno indo į kitą reikia pasirūpinti, kad indo krantai būtų nuosakiai ir atsargiai pakankamai atvėsinti, nes krantai kaip tik sudaro silpniausią indo vietą, kaip perėjimas nuo išorinio stiklo sluogsnio į vidujinį, ir staiga keičiantis temperatūrai lengvai sprogsta.

Galima net vežti gelžkeliu 2—3 litrus skysto oro turint didelę Dewar'o kolbą su pasidabrintais vakuumo paviršiais, įdėjus tą kolbą į krepšį su minkštu dugnu, kad nesusitrenktų, ir užkimšus ją vata. Reikia tik žiūrėti, kad kolba stovėtų stačiai ir nepargriūtų, nes pargriuvus skystas oras išsilies ir greitai išgaruos. Sudužus kambary litrinei kolbai su skystu oru, kambario temperatūra tuojau nupuls žemiau 0°.

Paminėsime čia dar, kad Dewar'o indai plačiai vartojami dabar ir paprastam gyvenime, ypač esant ilgoje kelionėje, kad kelias dienas galima būtų išlaikyti karštą arbatą, kavą, šokoladą arba net ir sriubą. Tai yra vadinamosios „termofliaskos", arba vakuumo bonkos, cilindrinės formos, įdedamos į šikšninę makštį su minkštu pamušalu, kad nesusitrenktų. Tokios cilindrinės bonkos gaminamos iš stiklo su dvigubomis sienomis, kurių išvidiniai paviršiai pasidabrinami, o iš tarpo tarp abiejų sienų paskui evakuojamas oras. Evakuavus orą tas tarpas užlydomas. Įpylus į tokią bonką karšto skystimo, užkimšus ją kamščiu ir užvožus makštį galima ją paimti su savimi į kelionę ir net per dvi dienas galima gerti karštos arbatos. Tiktai reikia vengti sutrenkimo ir laikyti bonką visuomet stačioj padėty, nes kitaip ji lengvai gali sprogti.

Grįšime dabar prie skysto oro. Kaip jau anksčiau paminėta, gaunamas iš Lindės mašinos skystas oras drumsčias ir atrodo balsvai, nes jame plaukioja daugybė smulkių kietos anglies rūgšties kristalų. Taigi prieš darant eksperimentus su skystu oru reikia atskirti jis nuo kietos anglies rugšties filtravimu. Imamas paprastas raukšlėtas filtras, įdedamas į Dewar'o indą ir, palaikant filtrą ranka arba grindies pagalba (tik nedėti filtro į stiklo koštuvą!), skystas oras pilamas ant to filtro. Skystimas lengvai nuteka į Dewar'o bonką, arba stiklą, o kieti anglies rūgšties kristalai pasilieka ant filtro ir labai greitai išgaruoja.

Norint perpilti skystą orą iš vieno indo į kitą galima pasinaudoti didesne (1 arba net 2 litrų didumo) Dewar'o bonka, užkimšus ją tik ne kietai, o laisvai kaučuko kamščiu su dviem skylėm. Per vieną iš tų skylių įkištas ilgesnis sulenktas stiklo vamzdis, kurio vienas galas įleidžiamas giliai į bonką, bet taip, kad neliestų bonkos dugno (vengti, kišant vamzdį, jo susidūrimo su bonkos dugnu!), o kitas užlenktas galas laikomas ties indo skyle, į kurią reikia pilti skystas oras. Per antrą kaučuko kamščio skylę prakišama kitas sulenktas stiklo vamzdis, bet trumpesnis, taip kad jo galas bonkoje randasi žymiai augščiau skystimo. Užmovus ant šito trumpesnio vamzdžio išorinio galo kaučuko vamzdį pūslinio kaučuko kompresoriaus, spaudžiant ir atleidžiant pūslę galima išvaryti kuone visas skystas oras iš bonkos į kitą bonką, arba stiklą. Vadinasi, šita bonka veikia kaip paprasta plovimo bonka, vartojama chemijos laboratorijose.

Įpylus į Dewar'o stiklą skysto oro jis atrodo melsvas. Jo temperatūra iš pradžios apie — 195° (78° A.), bet šita temperatūra nepastovi ir kįla augštyn, pakol pasieks — 182° (91° A.). Dalykas tas, kad skystas oras yra skysto deguonio ir azoto mišinys. Skystas azotas verda esant normaliniam spaudimui kaip tik —195° temperatūra. Tuo tarpu deguonio normalinė virimo temperatūra — 182°. Taigi turint skystą orą, vadinasi, dviejų skystimų mišinį, iš pradžios daugiausia garuoja azotas ir mažai, sulyginti, deguonis. Dėka to garavimo, pakol yra azotas, skysto oro temperatūra yra gangreit ta pati, kaip verdančio azoto temperatūra. Išgaruojant vis daugiau ir daugiau azoto, skystimo spalva darosi vis tirštesnė ir tirštesnė ir pagaliau mes gauname gražų mėlyną skystimą. Bet tada jau mes turime gangreit gryną deguonį, kurio virimo temperatūra yra žymiai augštesnė kaip azoto virimo temperatūra, būtent, — 182°.

Pabrėšime čia tuoj, kad gavus skystą orą lengva perskirti azotą ir deguonį ir surinkti juos atskiruose plieno cilindruose smarkiai suspaustų dujų pavidalu. Technikai pigus deguonis yra labai reikalingas dalykas. Pavyzdžiui, lydymui metalurgijoje, kur vartojama labai karšta liepsna acetileno, degančio gryname deguonyje. Ta liepsna tokia karšta, kad jos pagalba kaip aštriu skustuvu galima, taip sakant, perpjauti storą plieno

cilinarą. Yra ir visa eilė kitų gamybos procesų, kur reikalingas pigus deguonis, ir todel problema pagaminti pigiai deguonį visuomet buvo svarbi technikai. Lindės mašinos išradimu šita problema išspręsta.

Trumpai nurodysime čia į kai kurias skysto oro (arba, tiksliau sakant, skysto deguonies su didesne arba mažesne skysto azoto priemaiša) savybes ir pažymėsime kai kuriuos eksperimentus su skystu oru.

Turint skystą orą Dewar'o inde galima ramiai įkišti į tą skystimą savo ranką, tik neliečiant pirštais stiklo. Galima išpilti ant delno skysto oro porciją ir ramiai jį laikyti ant savo delno pakol jis smarkiai šnybždamas išgaruos. Dalykas toks, kad mūsų ranka, kaip ir kiti kūnai, kurių temperatūra yra žymiai augštesnė kaip skysto oro temperatūra, vaidina skysto oro atžvilgiu tą patį vaidmenį, kaip raudonai karšta geležis vandens atžvilgiu. Mes jau žinome, kad vanduo, išpiltas ant raudonai karštos geležies, tuojau pereina į vadinamąjį sferodinį stovį (žiūr. 15 §). Taip pat skystas oras ant rankos tuojau pereina į sferoidinį stovį: vadinasi, tarp skysto oro ir rankos paviršiaus susidaro dujiško oro sluogsnis, kuris yra blogas šilimos laidininkas ir, vadinasi, kaipo izolacijos sluogsnis apsaugo ranką nuo baisaus skysto oro šalčio veikimo. Bet sugniaužus arba suspaudus oro lašą galima gauti tokias pat pūsles, kaip užpylus ant rankos skysto švino arba kokios nors verdančios alyvos.

Švinas, kaip mes žinome, yra plastingas metalas. Jeigu ploną cilindrą iš švino įkišti į skystą orą ir atvėsinti iki skysto oro temperatūros, tai jis darosi elastingas ir tuo pačiu laiku labai stiprus ir ima skambėti kaip sidabras, taip kad esant skysto oro temperatūrai galima būtų naudotis gerais varpais iš švino. Antra vertus, kai kurie elastingi kūnai įkišti į skystą orą, tiesa, darosi stipresni, bet tuo pačiu laiku darosi labai trapūs. Taip, pavyzdžiui, geležis, atvėsinta skystame ore, darosi tokia trapi, jog plaktuku galima ją sudaužyti į trupinėlius. Atvėsintas skystame ore ir virtęs kietu kūnu gyvasai sidabras irgi darosi elastingas ir net skamba. Tuo pačiu laiku atvėsintos vynuogės, arba kaučukas, arba apelsinas darosi kieti, kaip akmuo, ir beriant tokias vynuoges ant lėkštės reikia elgtis atsargiai, taip kaip beriant akmenukus, nes lėkštė lengvai galima sudaužyti. Vinuoges, kaučuką ir apelsiną tokiam stovy lengva piestu sutrinti į smulkius miltelius.

Jau mes anksčiau matėme (10 §), kad metalų šilimos talpumas smarkiai mažėja esant žemoms temperatūroms. Gaunamas toks įspūdis, kad artinantis prie absolutinio nulio daugumos metalų šilimos talpumas darosi lygus nuliui. Tuo pačiu laiku kaip mes jau žinome iš 12 §, metalų šilimos laidumas būvant žemoms temperatūroms ir artinantis prie absolutinio nulio gangreit nesimaino. Kitaip yra su elektros laidumu. Būvant žemoms temperatūroms metalų elektros laidumas smarkiai auga. Atrodo taip, kad bent kai kurie metalai, artėdami prie absolutinio nulio, darosi gangreit absolutiniais elektros laidininkais. Tuo tarpu elektrolitų pasipriešinimas esant žemoms temperatūroms yra žymiai didesnis, kaip būvant paprastoms temperatūroms, vadinasi, jų laidumas artinantis prie absolutinio nulio taip smarkiai mažėja, jog jie darosi gangreit elektros izolatoriais.

Įdomu, kad skystas deguonis, kuris yra sunkesnis už vandenį (jo lyginamasai svoris vandens atžvilgiu 1,12, o skysto oro lyginamasai svoris 0,93), yra griežtai paramagnetinis kūnas: pilant skystą deguonį arba net ir skystą orą ant smarkaus elektromagneto polių, skystas oras išsitempia tarp abiejų polių ilgo tilto pavidalu ir laikosi taip tol, pakol per elektromagnetą ledžiama elektros srovė. Pertraukus srovę skystas oras tuojau nuteka nuo polių žemyn.

Aišku, kad skystu oru galima naudotis norint gauti augštą vakuumą, pavyzdžiui, gaminant Rentgeno vamzdžius. Tokį vamzdį galima iš pradžios pripilti anglies rūgšties ir paskui įmerkti jį į skystą orą. Perėjus į kietą stovį anglies rūgštį lengvai galime pašalinti, ir užlydę vamzdį turėsime augšto vakuumo Rentgeno vamzdį.

Pagaliau pažymėsime čia dar, kad degamieji kūnai puikiai dega skystame ore, vadinasi, esant labai žemai skysto oro temperatūrai. Taip smilkstantis anglies gabalas įkištas į skystą orą ima smarkiai degti su gražia gelsvai balta blizgančia šviesa. Paėmę anglies miltelius ir sušlapinę juos skystu oru gausime smarkiai veikiančią sprogstamą

medžiagą, kuri veikia neblogiau kaip dinamitas ir, vadinasi, gali būti vartojama technikoje visiems tiems tikslams, kuriems vartojamas dinamitas, tiktai su tuo dideliu patogumu, kad su tąja sprogstamąja medžiaga labai lengvai ir be jokio pavojaus galima manipuluoti, nes atskirai galima laikyti anglies miltelius ir skystą orą ir reikalui esant vietoje pagaminti sau sprogstamą mišinį. Pasilikusi to mišinio dalis irgi visiškai nepavojinga, nes skystas oras iš anglies miltelių greitai išgaruoja.

Bet aplamai reikia pasakyti, kad visos chemijos reakcijos esant žemoms temperatūroms smarkiai silpnėja ir visiškai apsistoja. Taip metalas natrijus, kuris, būvant paprastai temperatūrai, mestas ant sieros rūgšties sukelia baisų sprogimą, mestas ant tos pačios sieros rūgšties atvėsintos ir perėjusios į kietą stovį būvant skysto oro temperatūrai visiškai nereaguoja. Bet yra ir išimčių. Taip fluoras ne tik skysto oro temperatūra, bet net ir verdančio vandenilio temperatūra, vadinasi, prie — 253° taip pat baisiai reaguoja su vandeniliu, kaip esant paprastai temperatūrai, sukeldamas baisų sprogimą. Taigi nėra jokio galimumo tvirtinti, kad ta ar kita fizinių kūnų savybė, pasiekiant vis žemesnę ir žemesnę temperatūrą, mainosi ta pačia prasme. Visur mes susiduriame su išimtimis. Taip, sakysime, sieros kalkis CaS, kuris reiškia smarkią fosforescenciją esant paprastoms temperatūroms, nustoja reiškęs fosforescenciją įmerktas į skystą orą. Antra vertus, visą eilė kūnų, kurie nereiškia jokios fosforescencijos būvant paprastoms temperatūroms, ima reikšti ne tik fosforescenciją būvant žemoms temperatūroms, bet ir ima leisti gražią žalią arba mėlyną šviesą, įmerkus juos į skystą orą. Taip elgiasi glicerinas, pienas, plunksnos, parafinas, chininas ir kiti — pastarieji du skystame ore esant temperatūrai apie — 200° šviečia gražia mėlyna šviesa. [1])

Taigi artėdamos prie absolutinio nulio įvairios rūšys materijos reiškia didelių prieštaravimų. Bet tas kaip tik ir sukelia pas mokslininkus didelį susidomėjimą, nes netoli nuo absolutinio nulio aplamai materija įgyja tokių savybių, kurios esant paprastoms temperatūroms mums visiškai nežinomos. Tarytum miršta priprasta mums inertinė materija ir ima reikštis jos, taip sakant, siela, pasaulinis eteris. Šitoje srityje galima laukti dar daug naujų nepaprastai įdomių dalykų ir netikėtų pritaikinimų praktikoje. Todel suprantama, kad kai kuriuose kraštuose veikia tam tikri mokslo institutai, kurie išimtinai užsiima materijos savybių nagrinėjimu esant žemoms temperatūroms, t. y. žemų temperatūrų laboratorijos— „kriogeninės laboratorijos". Iš jų užvis garsiausios pasaulyje Leideno Universiteto Olanduose žemų temperatūrų laboratorija ir Karališkojo Instituto Londone tokia pat laboratorija.

Turint galimumą pigiai ir patogiai pagaminti sau didelius kiekius skysto oro lengva buvo visas vadinamąsias permanentines dujas paversti ne tik skystu, bet ir kietu stoviu, tiesiog merkiant į skystą orą indus ir varant į šituos indus dujas iš rezervuarų. Prieš Lindės mašinos išradimą, kaip jau mes anksčiau paminėjome, nieko negalima buvo padaryti su vandeniliu del labai žemos vandenilio krizio temperatūros ir dar todel, kad vandenilio temperatūra skečiantis jam adiabatiškai nepuola, bet kįla augštyn — tarytum tarp vandenilio molekulų veikia atsparos jėgos. Bet 1898 metais, pasirodžius Lindės mašinai, anglų chemikai Dewar'as ir Travers'as padirbo mašiną visiškai panašią į Lindės mašiną, tik mažesnę, kurios pagalba jiems pasisekė gauti skystame stovyje žymius kiekius vandenilio. Turėdami omeny temperatūros pakilimą skečiantis vandeniliui adiabatiškai jie cilindrą rezervuarą su suspaustu vandeniliu vėsino iš pradžios anglies rūgšties sniego ir eterio mišiniu, vadinasi, iki temperatūros — 80°, nes skečiantis vandeniliui adiabatiškai pradedant nuo šitos temperatūros, jis ima elgtis taip, kaip ir kitos permanentinės dujos, ir jo temperatūra puola. Atvėsintas tokiu būdu vandenilis varomas per trigubą vynioklį, kaip Lindės mašinoje, ir vėsinamas toliau verdančiu 100 mm. spaudimo oru, tai bus esant temperatūrai apie — 200°. Duodant atvėsintam tokiu būdu vandeniliui adiabatiškai išsiplėsti pasiekiama ne tik jo krizio temperatūra, būtent — 238°, bet vandenilio temperatūra puola dar žemiau, ir jis ima rinktis skystame stovyje mašinos recipiente. Dirbant su Travers'o mašina galima per valandą gauti apie 400 kub. cm. skysto vandenilio. Tai yra labai lengvas skaidrus

---

[1]) Manoma, kad čia yra reiškinys panašus į triboluminiscenciją — švietimą kaipo vaisių smarkaus vidurinio trynimo del smarkaus susitraukimo kūno skystame ore.

skystimas (14 sykių lengvesnis kaip vanduo), kuris verda esant 1 atmosferos spaudimui ir —253°, arba + 20° Abs. Su skystu vandeniliu manipuluojama tuose pačiuose Dewar'o induose, kaip ir su skystu oru. Atsargiai, nuosakiai atvėsinus stiklo mėgintuvėlį skystame ore ir paskui pripylus jį skysto vandenilio, kambaryje apie tokį mėgintuvėlį (probirką) pasikelia tikra sniego audra, nes oras kontakte su tokiu mėgintuvėliu tuojau pereina į kietą stovį ir ima dribti pavidalu balto sniego. Taigi aišku, kad skysto vandenilio pagalba galima kitos permanentinės dujos paversti kietais kūnais. Taip deguonis virsta kietu kūnu esant —218° arba 55° Abs., azotas esant —213° arba + 60° Abs. Tai ir bus tų dujų tirpimo temperatūros. Kaip jau pasakyta, vandenilis verda esant 1 atmosferos spaudimui ir —253°. Sumažinus spaudimą vandenilis verda prie —257° ir del priežasties absorpcijos slaptosios garavimo šilimos, skystas vandenilis būvant tai temperatūrai pereina į kietą stovį. Tai bus jo tirpimo temperatūra (+ 16° Abs.). Kietas vandenilis yra skaidrus, kaip stiklas, kūnas.

Dar daugiau rūpesnių mokslininkams pridarė helijus. Ypatingai daug vargo su šitomis dujomis turėjo Leideno Universiteto fizikos profesorius ir žemų temperatūrų laboratorijos direktorius Kammerlingh-Onnes'as, kuris nuo 1898 metų, vadinasi, nuo laiko, nuo kurio galima buvo turėti didesnius kiekius skysto vandenilio, ėmė daryti eksperimentus su helijum. Bet tiktai per 10 metų darbo, vadinasi, 1908 metais jam pasisekė gauti, tiesa, nedidelį, bet visgi tokį kiekį skysto helijaus, su kuriuo galima jau buvo daryti įvairius eksperimentus. Helijui atvėsinti buvo taikomas tas pats principas, kaip ir vandeniliui atvėsinti. Suspaustas helijus buvo vėsinamas vandeniliu, verdančiu esant sumažintam spaudimui, vadinasi, esant —257°. Leidžiant taip atvėsintam helijui adiabatiškai išsiplėsti buvo pasiekta jo krizio temperatūra —268° (+ 5° Abs.) ir pagaliau buvo pasiekta ir dar žemesnė temperatūra, esant kuriai, palyginti, nedideliu spaudimu helijus buvo gautas skystame stovyje. Skirtumas tarp helijaus normalinės virimo temperatūros —269° ir jo krizio temperatūros —268° yra labai nedidelis. Helijaus krizio spaudimas 2,3 atmosferos, tuo tarpu vandenilio krizio spaudimas 15 atmosferų.

Gavęs helijų skystame stovyje Kammerlingh-Onnes'as vėl dar 10 metų eksperimentavo, pakol jam pasisekė gauti helijų kietame stovyje, leidžiant skystam helijui virti gangreit vakuume. 1918 metais Kammerlingh-Onnes'as paskelbė, kad helijus virsta kietu kūnu esant —271° (+ 2° Abs.). Taigi helijaus tirpimo temperatūra, del kurios dar šiandien yra abejojimų, būtų žemiausia iki šiol atsiekta temperatūra, kuri skiria mus nuo absolutinio nulio tik 2°. Pasiekti šitai temperatūrai mokslininkams reikėjo viso 100 metų. Sunku pasakyti, kiek metų reikės nugalėti dar tiems dviems laipsniams ir aplamai, ar atsiras būdai jiems nugalėti, nes iš paties dalyko esmės aišku, kad juo arčiau prie absolutinio nulio, juo sunkiau slinkti žemyn temperatūros atžvilgiu. Bet tokios pastangos daromos šiandien ir, be abejojimo, bus daromos ateity nenuilstant, nes mokslininkai tikisi išplėšti iš gamtos, prisiartinę kuo arčiau prie absolutinio nulio, ypatingai svarbias medžiagos prigimties paslaptis.

Uždaviniai.

1. Metalinio rutulio tūris yra lygus 1000 cm.³ esant 0° C. temperatūrai ir 1003 cm.³ esant 100° C. temperatūrai. Apskaityti rutulio ilginį skėtimosi koeficientą.

   Atsak. 0,00001.

2. Kietame kūne, kurio ilginis skėtimosi koeficientas 0,000015, randasi tarpas dalinai užimtas kitu kūnu 200 cm.³ tūrio ir 0,00003 skėtimosi koeficiento. Kiek pasikeis likusio oro tūris pakilus temperatūrai 1°?

   Atsak. 0,0045 cm.³.

3. Misinginė švytuoklė tiksliai atmuša sekundas esant 10° C. Parodyti, kad esant 25° C. ji pasivėluoja 11,5 sekundų per parą, skaitant jos ilginį skėtimosi koeficientą 0,000018.

4. Tuščias piknometras sveria 8,75 gramų. Pripiltas skysčio nulio laipsnio temperatūra tas pats piknometras sveria 33,8 gramų, o esant 40° — 33 gramus. Surasti skysčio skėtimosi koeficientą.

   Atsak. 0,000825.

5. Barometras, kuris esant 0° rodo 75 cm., esant 100° rodo 76,33 cm. Apskaityti gyvojo sidabro skėtimosi koeficientas, turint galvoj, kad gyvojo sidabro garų spaudimas esant 100° yra lygus 0,03 cm.

   Atsak. 0,0001815.

6. 50 cm.³ oro esant 15° C. išvaromi iš nuolatinio spaudimo oro termometro, keičiantis temperatūrai nuo 0° ligi 100°. Apskaityti termometro temperatūra, jeigu bus išvaryta 10 cm.³ oro, nesiskaitant su kriaušės išsiskėtimu.

   Atsak. 15,5°.

7. Gyvojo sidabro termometras esant 0° turi 2 cm.³ gyvojo sidabro. Atokumas tarp jo nuolatinių taškų yra lygus 30 cm. Apskaityti vamzdžio diametras.

   Atsak. 0,0358 cm.

8. Iki kurio spaudimo galima pripildyti dujomis stiklo vamzdį esant 0° temperatūrai, kad tas vamzdis išturėtų spaudimą esant 400° C., turint galvoj, kad vamzdis gali išlaikyti spaudimą tik 20 atmosferų.

   Atsak. 8,13 atmosferų.

9. 15 litrų oro atvėsinama nuo 45 ligi 15° C. Tuo pačiu laiku spaudimas sumažinamas nuo 795 mm. ligi 760 mm. Apskaityti naujas oro tūris.

   Atsak. 14,22 litrai.

10. Konstatuota, kad dujų pavyzdys užima tūrį 100 cm.³ esant 18° C. ir spaudimui 72 cm. gyvojo sidabro stulpo. Tas pats dujų pavyzdys užima tūrį 200 cm.³ esant 90° C. ir spaudimui 45 cm. Surasti, kokiai temperatūrai esant tos dujos užims tūrį 400 cm.³ ir reikš spaudimą 100 cm. gyvojo sidabro stulpo.

    Atsak. 1600° Abs. arba 1327° C.

11. Į tuščią kalorimetrą pripilta esant 15,8° temperatūrai 100 gramų vandens 54,2° temperatūros. Apskaityti kalorimetro vandeninis ekvivalentas, jeigu galutinė temperatūra buvo 52,2°.

Atsak. 5,5 gramai vandens.

12 Kalorimetre 50 gramų vandens 60° temperatūros buvo sumaišyti su 50 gramų vandens 10° temperatūros. Surasti vandeninis kalorimetro ekvivalentas, jeigu galutinė temperatūra buvo 32°.

Atsak. 13,6 gramų vandens.

13. 27,45 gramai marmulo 95° temperatūros įmesti į 100 gramų vandens kalorimetre esant 16,9° temperatūrai. Surasti marmulo lyginamoji šilima, jeigu galutinė temperatūra buvo 20,8° C. ir turint omeny, kad vandeninis kalorimetro ekvivalentas 5,8 gramai vandens.

Atsak. 0,203.

14. Pagalba lempos, kuri duoda 200 kalorijų per sekundą, reikia pašildyti nuo 20° iki 200° 10.000 gramų aliejaus, kurio lyginamoji šilima yra lygi 0,4. Kiek laiko tęsis toks šildymas?

Atsak. 1 val.

15. Kalorimetre buvo 50,3 gramų vandens esant 15° C. Vandeninis kalorimetro ekvivalentas 3,65 gramai. Išėmus iš kalorimetro termometrą, jis buvo pašildytas ant liepsnos iki 70° ir įkištas atgal į kalorimetrą. Galutinė temperatūra kalorimetre nusistojo 16,1°. Surasti termometro vandeninis ekvivalentas.

Atsak. 1,2 gramų.

16. Kiek reikia akmens anglies, kad per 24 valandas pakėlus oro temperatūrą ligi 15° C. namuose, kurių tūris yra lygus 100 m. × 40 m. × 25 m. ir turint omeny, kad kas valanda visas oras atnaujinamas iš lauko įeinančiu oru esant 0° C. temperatūrai. Lyginamoji oro šilima 0,2375; oro tankumas 0,00129; 1 gramas akmens anglies sudegdamas duoda 6000 kalorijų.

Atsak. 1,85 tonos.

17. Į vario kalorimetrą, kuris sveria 120 gramų ir kuriame randasi 500 gramų vandens esant temperatūrai 32,5° C įmesta 64 gramai ledo temperatūros 0° C. Temperatūra kalorimetre nupuolė ligi 20°. Surasti slaptąją ledo tirpimo šilimą.

Atsak. 80 kalorijų.

18 Vario kalorimetras sveria su vandeniu 18° C. temperatūros 118 gramų, o bė vandens 41,5 gramų. Į kalorimetrą buvo kišamas ledas, pakol jo temperatūra nupuolė ligi 10,4° C. Ištirpus ledui, kalorimetras su vandeniu svėrė 124,84 gramus. Surasti slaptąją ledo tirpimo šilimą.

Atsak. 79,53.

19. Ledas temperatūros 0° buvo sumaišytas su 2 kilogramais vandens temperatūros 25° taip, kad galutinė temperatūra buvo 0°. Kiek ledo sutirpinta?

Atsak. 625 gramai.

20 Surasti, kiek pasitrauks atgal gyvojo sidabro siūlas Bunzeno kalorimetro vamzdyje, suteikus ledui 10 kalorijų šilimos ir žinant, kad vamzdžio diametras 0,4 mm., o ledo tankumas 0,916.

0,04

Atsak. 9,15 cm.

21. Kalorimetras, kurio vandeninis ekvivalentas yra lygus 6 gramams, turėjo 101,2 gramus vandens temperatūros 14,5^0 C. Į šitą kalorimetrą buvo įleista 3,38 gramai vandens garų temperatūros 100^0, taip kad kalorimetro temperatūra pakilo ligi 32,3^0 C. Temperatūros kilimas truko 3 minutes laiko. O 1,5 minutės vėliau kalorimetro temperatūra nupuolė 0,3^0. Surasti slaptąją garų šilimą.

Atsak. 529 kalorijos.

22. Reikia sulyginti vandens kiekius temperatūros 15^0 C., kurie reikalingi suskystinti 100 tonų garų temperatūros 39^0 C., kada jų visa slaptoji šilima yra lygi 580 ir temperatūros 26^0 C., kada visa slaptoji šilima yra lygi 588.

Atsak. 2420 ir 5345 tonų.

23. Ledo kubinis metras temperatūros 0^0 ir tankumo 0,91 paversta garais esant 100^0 C. temperatūrai. Kiek reikėjo akmens anglies, jeigu 1 gramas anglies degdamas duoda 7500 kalorijų?

Atsak. 87 kilogramai.

24. Skysčio virimo temperatūra 156^0, vidutinė jo lyginamoji šilima 0,46 ir slaptoji virimo šilima 68. Surasti, kiek to skysčio garų perėjo į varinį indą, kuris sveria 30 gramų ir kuriame randasi to paties skysčio 250 gramų temperatūros 15^0, jeigu temperatūra pakilo ligi 27^0.

Atsak. 11,1 gramų.

25. Plokštė 12 × 10 cm. storumo 1 mm. patalpinta taip, kad jos viena pusė apklota ledu, o kitą pusę veikia verdančio vandens garai, taip kad per minutę tų garų kondensuojasi 3,5 gramai. Surasti plokštės medžiagos šilimos laidumas.

Atsak. 0,0002.

26. Apskaityti kalorijų skaičius, kuris per 1 minutę pereina nuo vienos pusės į kitą pusę apskrito skritulio spindulio 5 cm. ir storumo 2 cm., jeigu vienos skritulio pusės temperatūra 20^0, o kitos 25^0 ir skaitant, kad skritulio medžiagos šilimos laidumas 0,07.

Atsak. 825 kalorijos.

27. Apskaityti temperatūrų skirtumas dviejų plokštelės paviršių, kurios storumas yra lygus 1,5 cm. ir laidumas 0,1, skaitant, kad šilima, kuri per 1 minutę pereina nuo vienos plokštelės pusės į kitą, sugeba išgaruoti 1 gramą vandens, kurio garų slaptoji šilima 536.

Atsak. 134^0.

28. Koksai turi būti greitumas kūno masės 10 gramų, jeigu jo kinetinė energija gali pakelti temperatūrą 10^0 vieno kilogramo tokios medžiagos, kurios lyginamoji šilima yra 0,1.

Atsak. ~~91.600~~ cm. per sekundą. 9.160 cm/sek

29. Apskaityti švino gabalo greitumą, kuriuo jis turi suduoti į akmenį taip, kad jo temperatūra pakiltų nuo 16^0 C. ligi jo tirpimo temperatūros, būtent, ligi 326^0 C., žinant, kad švino lyginamoji šilima yra lygi 0,031.

Atsak. 28400 cm. per sekundą.

30. Vario kalorimetras, kuris sveria 100 gramų, turi 990 gramų vandens 15^0 C temperatūros. Vanduo maišomas maišikliu su sparnais, kuris sukasi 1000 apsisukimų. Sukamasai jėgų poris yra lygus 10^8 dinų; vandens temperatūra pasikelia ligi 30^0 C. Apskaityti mechaninis šilimos ekvivalentas.

Atsak. 4,18 × 10^7 ergų.

31. Meteoritas, kurio temperatūra iš pradžios yra lygi 0°, susidūręs su žemės atmosfera virsta garais veikiant trynimo šilimai. Skaitant, kad meteorito lyginamoji šilima 0,2, jo virimo temperatūra 3000° C. ir slaptoji garų šilima 50 ir kad 0,9 dalys sudarytos šilimos išsiskleidžia radiacijos keliu, apskaityti meteorito greitumo minimumą susiduriant su atmosfera.

Atsak. 7,5 kilometrų per sekundą.

32. Barometro vamzdis turi oro ir sočių garų mišinį augščiau 70 cm. gyvojo sidabro stulpo. Koksai bus gyvojo sidabro stulpo augštis, jeigu merkiant vamzdį į gyvąjį sidabrą gilyn sumažinsime tūrį augščiau gyvojo sidabro stulpo per pusę, skaitant, kad sočių garų spaudimas yra lygus 1,5 cm.

Atsak. 65,5 cm.

33. Litras oro temperatūros 100° C. ir spaudimo 77 cm. privaromas vandens garų tiek, kad jie būtų sotūs. Surasti, kiek padidės oro tūris, jeigu temperatūra ir spaudimas nepasikeis.

Atsak. 0,987 litro.

34. 4 litrai oro 17° temperatūros ir 76 cm. spaudimo su tokiu garų turiniu, kuriam atitinka rasos taškas 6,5°, burbulais pervaromas per vandenį, taip kad oras tampa sotus garų. Apskaityti, kiek oras paima vandens, skaitant, kad vandens sočių garų spaudimas esant 17° C temperatūrai yra lygus 1,44 cm., esant 6,5° C temperatūrai lygus 0,72 cm. ir kad 22,3 litrai garų 0° temperatūros ir 76 cm. spaudimo sveria 18 gramų.

Atsak. 0,2875 gramai.

TURINYS.

Termometrija.

Kalorimetrija.

Fizinio stovio atmaina.

Termodinamika, arba mechaninė šilimos teorija.

Pastebėtų klaidų atitaisymas.

Pusl.	Eil.	Atspausdinta	Turi būti
13	9 iš ap.	Lt	L_t
13	7 „ „	temperatūrai t,	temperatūrai T,
38	19 „ „	puolimos	puolimas
54	6 „ „	$\frac{\sqrt{C_p \; P}}{C_v \; D}$	$\sqrt{\frac{C_p}{C_v} \frac{P}{D}}$
143	13 „ „	$\int_{P_0}^{P_1} \frac{dp}{p}$	$\int_{p_0}^{p_1} \frac{dp}{p}$
150	27 iš virš.	gabumas	gabumus
156	4 „ „	$RT_2 \int_{v_3}^{v_2} \quad \frac{dv}{v}$	$RT_2 \int_{v_3}^{v_2} \frac{dv}{v}$
156	13 „ „	$\frac{1}{\frac{C_p}{C_v} - 1} \quad \frac{dT}{T}$	$\frac{1}{\frac{C_p}{C_v} - 1} \frac{dT}{T}$